

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

UNIDAD DE POSGRADO

**Obtención del aceite vegetal de Euterpe precatoria Mart.
(Asaí) por diferentes métodos de extracción: evaluación del
rendimiento y calidad (características físico-químicas,
actividad antioxidante y estabilidad)**

TESIS

**Para optar el Grado Académico de Magister en Productos Naturales Y
Biocomercio**

AUTOR

Elizabeth Consuelo Ortega Romero

ASESOR

Arilmí Gorriti Gutiérrez

Lima – Perú

2015

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mí querida madre Consuelo Romero Castillo, a mi abuela Marcelina Castillo Giraldo, y a mi querido padre Jesús M. Ortega Contreras ejemplos de vida y de trabajo que inspiraron en todo momento mi desempeño académico y profesional. Así como a mi hermana Patricia Ortega Romero por su amor y amistad.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo:

A mí estimada asesora Dra. Arilmí Gorriti G., por brindarme en todo momento su confianza y apoyo incondicional en la elaboración y ejecución de esta investigación.

A mis colegas y amigas, Q.F Bertha Jurado y Eva Ramos, por ser ejemplo de dedicación y empeño en las actividades de investigación, por su invaluable orientación, paciencia e inspiración para mí y para los jóvenes investigadores que poco a poco se forjan en sus laboratorios.

A mi estimada colega y amiga Karin Zamudio Malpartida, por su gran amistad y su incondicional apoyo en los momentos más difíciles de esta investigación.

A mis estimados alumnos, asistentes y amigos, que con su alegría y colaboración hicieron de este trabajo una hermosa experiencia académica, muy en especial a Elvira Aparicio, Milagros Huamaní y Américo Figueroa.

A los Ings. Agérico Pantoja y Ronald Portales, docentes de la Universidad Nacional del Callo por su valioso apoyo y colaboración en la extracción de los aceites.

A los distinguidos miembros del jurado infórmate, examinador y evaluador por sus valiosos aportes.

Índice General

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Justificación teórica	3
1.4 Justificación práctica.....	4
1.5 Objetivos	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación	6
2.2. Antecedentes	7
2.2.1. Estudio Farmacognóstico	11
2.2.2. Descripción morfológica y ubicación taxonómica.....	11
2.2.3. Hábitat y recolección	13
2.2.4. Usos y aplicaciones.....	15
2.2.5. Importancia del recurso en la economía	15
2.3. Bases teóricas.....	16
2.3.1. Aplicación cosmética de ácidos grasos	16
2.3.2. Métodos de extracción de aceites	17
2.3.3. Extracción por solventes.....	18
2.3.4. Extracción por fluidos supercríticos	20
2.3.5. Extracción por prensado.....	20
2.3.6. Extracción acuosa	22
2.3.7. Extracción enzimática-prensada.....	23

2.3.8.	Procesos químicos en el deterioro de aceites.....	23
2.3.9.	Descomposición de los hidroperóxidos.....	26
2.3.10.	Factores que afectan la velocidad de auto-oxidación lipídica.....	26
2.3.11.	Calidad de grasas y aceites.....	28
2.3.12.	Ingredientes naturales de usos cosmético: aceites.....	33
CAPITULO III : DISEÑO METODOLÓGICO		35
3.1	Tipo y diseño de la Investigación	35
3.1.1	Tipo de investigación	35
3.1.2	Método y diseño de Investigación.....	35
3.2	Unidad de análisis	35
3.3	Población de estudio	35
3.4	Tamaño de la muestra.....	36
3.5	Selección de la muestra	36
3.5.1	Criterios de inclusión	36
3.5.2	Criterios de exclusión	36
3.6	Técnicas de recolección de datos.....	36
3.6.1	Caracterización morfológica de los frutos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	36
3.6.2	Obtención de la pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	37
3.6.3	Análisis químico proximal de la pulpa seca del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	38
3.6.4	Obtención de aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	38
3.6.5	Evaluación del rendimiento de la obtención de aceite	40
3.6.6	Análisis Físico-químico del aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	40
3.6.7	Evaluación de la actividad antioxidante del aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	40
3.6.8	Evaluación de la estabilidad del aceite obtenido del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	42
3.7	Análisis e interpretación de la información.....	43

3.7.1	Análisis de Datos.....	43
CAPITULO IV: RESULTADOS		45
4.1	Caracterización morfológica de los fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	45
4.2	Obtención de la pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	46
4.3	Análisis químico proximal de la pulpa seca del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart	47
4.4	Obtención de aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	48
4.4.1	Extracción por prensado en frío	48
4.4.2	Extracción con pre tratamiento enzimático y prensado en frío	48
4.4.3	Extracción por solventes orgánicos	49
4.5	Evaluación de la eficiencia de extracción.....	50
4.6	Análisis físico químico del aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	52
4.7	Evaluación de la actividad antioxidante del aceite del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	55
4.7.1	Método del radical 2,2-difenil –1-picrylhydrazyl (DPPH)	55
4.7.2	Compuesto fenólicos totales- método de Folin-Ciocalteau	55
4.8	Evaluación de la estabilidad del aceite obtenido del fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	56
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		62
CAPITULO VI : CONCLUSIONES		72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73
ANEXOS		83

Relación de cuadros

<i>Cuadro 1</i> Análisis proximal de pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	10
<i>Cuadro 2</i> Análisis fisicoquímico de pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart filtrada. ³³	10
<i>Cuadro 3</i> Hábitat y recolección de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	14
<i>Cuadro 4</i> Procesos de extracción de aceites.....	18
<i>Cuadro 5</i> Parámetros de calidad de grasas y aceites.....	29
<i>Cuadro 6</i> Evaluación morfológica de los frutos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. ...	46
<i>Cuadro 7</i> Evaluación de rendimiento en la obtención de pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	46
<i>Cuadro 8</i> Resultados de análisis proximal de pulpa seca de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. en base seca y base húmeda	47
<i>Cuadro 9</i> Resultados del rendimiento de extracción los aceites obtenidos por prensado en frío.....	48
<i>Cuadro 10</i> Resultados del rendimiento de extracción los aceites obtenidos por pre tratamiento enzimático-prensado en frío	49
<i>Cuadro 11</i> Resultados del rendimiento de extracción con solventes.....	49
<i>Cuadro 12</i> Análisis ANOVA y test de Levene	50
<i>Cuadro 13</i> Comparaciones múltiples con las pruebas T3 de Dunnett, Scheffé y Games-Howell.	51
<i>Cuadro 14</i> Análisis estadístico de los subconjuntos homogéneos.....	52
<i>Cuadro 15</i> Resultados del análisis fisicoquímico del aceite extraído por los diferentes métodos de extracción	52
<i>Cuadro 16</i> Análisis ANOVA de un factor para lo resultados de los parámetros fisicoquímicos	54
<i>Cuadro 17</i> Resultados de la capacidad de inhibición de radicales libres en los aceites obtenido por los diferentes métodos de extracción	55
<i>Cuadro 18</i> Compuestos fenólicos en aceite expresados en equivalencia de ppm de ácido gálico (AG)	56
<i>Cuadro 19</i> Datos del análisis morfológico de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	89
<i>Cuadro 20</i> Análisis estadístico de la evaluación morfológica de frutos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	90
<i>Cuadro 21</i> Análisis de frecuencia de los medidas de longitud, diámetro, peso de fruto, peso de pulpa y peso de semilla en fruto de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	90
<i>Cuadro 22</i> Análisis estadístico de la evaluación química proximal de la pulpa seca de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	91
<i>Cuadro 23</i> Análisis estadístico: evaluación de la eficiencia de extracción por prensado en frío de la pulpa seca de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	92

Cuadro 24 Análisis estadístico de la evaluación de la eficiencia de extracción con pretratamiento enzimático y prensado en frío de pulpa seca de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	92
Cuadro 25 Análisis estadístico de la evaluación de la eficiencia de extracción por solventes orgánicos de pulpa seca de <i>Euterpe precatoria</i> Mart	92
Cuadro 26 Análisis estadístico descriptivo de los métodos de extracción de aceite de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	93
Cuadro 27 Análisis estadístico de los ensayos fisicoquímicos del aceite obtenido a través de los métodos de extracción (1,00=Prensado; 2,00=Enzimático; 3,00=Solvente).....	94
Cuadro 28 Prueba de homogeneidad de varianzas entre los análisis fisicoquímicos	95
Cuadro 29 comparaciones múltiples entre los resultados de los métodos de extracción en cada ensayo realizado.....	95
Cuadro 30 Evaluación de subconjuntos homogéneos en cada parámetro fisicoquímico analizado.....	97
Cuadro 31 Resultado de la capacidad antioxidante de trolox como estándar de capacidad antioxidante	102
Cuadro 32 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 2.....	104
Cuadro 33 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 4.....	104
Cuadro 34 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 6.....	105
Cuadro 35 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 8.....	105
Cuadro 36 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 10.....	106
Cuadro 37 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 12.....	106
Cuadro 38 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 4.....	107

<i>Cuadro 39</i> Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 8.	107
<i>Cuadro 40</i> Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 12.	108
<i>Cuadro 41</i> Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 20 ° C en la semana 6.	108
<i>Cuadro 42</i> Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 20 ° C en la semana 12.	109
<i>Cuadro 43</i> Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por prensado.	109
<i>Cuadro 44</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por prensado en frio, en orden de reacción 0,1 y 2.	111
<i>Cuadro 45</i> Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción on pre tratamiento enzimático–prensado.	111
<i>Cuadro 46</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por pretratamiento enzimático–prensado, en orden de reacción 0,1 y 2.	113
<i>Cuadro 47</i> Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por solvente.	113
<i>Cuadro 48</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción por solvente en orden de reacción 0,1 y 2.	115
<i>Cuadro 49</i> Datos para la evaluación de la cinética de deterioro oxidativo y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por prensado.	115
<i>Cuadro 50</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción por prensado en orden de reacción 0,1 y 2.	117
<i>Cuadro 51</i> Datos para la evaluación de la cinética de deterioro oxidativo y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por pre tratamiento enzimático-prensado.	117
<i>Cuadro 52</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción con pretratamiento enzimático-prensado en orden de reacción 0,1 y 2.	119
<i>Cuadro 53</i> Datos para evaluar la cinética del deterioro oxidativo y elaboración de gráfica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por solvente.	119

<i>Cuadro 54</i> Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción con solvente en orden de reacción 0,1 y 2.	121
--	-----

Relación de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo de la producción de pulpa de Asaí.....	9
Figura 2 A. Palmera monocaule, B. infrutescencia, C. raíz, D. semillas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. ³⁴	12
Figura 3 Fruto de asaí (<i>Euterpe precatoria</i>). a. Asaí entero con la superficie lisa y residuo estigmático lateral. b. Corte longitudinal con mesocarpo (pulpa) delgado y endospermo blanco. c. Fibras longitudinales de la pulpa. d. Semilla rodeada por endocarpo	13
Figura 4 Infrutescencia de <i>Euterpe precatoria</i> Mart., nótese los frutos de color negro distribuidos en las raquillas (Foto M.J. Velarde) (a) y corte transversal del fruto (b)	13
Figura 5 Métodos de recolección: Izquierda a) destructiva b) no destructiva. Derecha estadio de maduración de los racimos: a) verde, b) vitrin, c) negro, d) tuiira, e) bien maduros. Formas de colectar de racimos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	14
Figura 6 Estructura de ácidos grasos esenciales y no esenciales	17
Figura 7 Esquema de estructura interna de "expeller"	21
Figura 8 Esquema de prensa hidráulica para prensado en frío.	22
Figura 9 Diagrama de flujo del acondicionamiento de la muestra para la extracción de aceite de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.....	38
Figura 10 Característica física de la pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	45
Figura 11 Cambio hidrolítico del aceite de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. extraídos por prensado en frío a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.	57
Figura 12 Cambio hidrolítico del aceite de <i>Euterpe precatoria</i> extraídos con pre tratamiento enzimático a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.....	58
Figura 13 Cambio hidrolítico del aceite de <i>Euterpe precatoria</i> extraídos con solvente a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.	58
Figura 14 Cambios oxidativos en el aceite de <i>Euterpe precatoria</i> extraídos por prensado en frío a la temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C. ...	60
Figura 15 Cambios oxidativos en el aceite de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. extraídos con pretratamiento enzimático a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.	60
Figura 16 Cambios oxidativos en el aceite de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. extraídos con solventes a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.....	61
Figura 17 Análisis morfológico de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	83
Figura 18 Obtención de la pulpa de <i>Euterpe precatoria</i> Mart.	85
Figura 19 Extracción por prensado en frío.	86
Figura 20 Extracción con pre tratamiento enzimático.	87
Figura 21 Extracción por solventes orgánicos. LOPU .Universidad Nacional del Callao.....	88
Figura 22 Histograma de frecuencia del peso de la pulpa en los frutos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart	91
Figura 23 Variación de la media de los diferentes métodos de extracción.	93

<i>Figura 24</i> Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 de aceite obtenido por prensado.	99
<i>Figura 25</i> Porcentaje de inhibición de radicales libres con el aceite obtenido con el método de prensado en frío.	99
<i>Figura 26</i> Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 de aceite obtenido por extracción con pretratamiento enzimático.	100
<i>Figura 27</i> Porcentaje de inhibición de radicales libres por el aceite obtenido por el método con pre tratamiento enzimático.	100
<i>Figura 28</i> Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 de aceite obtenido por extracción con solvente.	101
<i>Figura 29</i> Porcentaje de inhibición de radicales libres con el aceite obtenido por el método con extracción por solventes.	101
<i>Figura 30</i> Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 con trolox como estándar	102
<i>Figura 31</i> Porcentaje de inhibición de radicales libres con Trolox como estándar.	103
<i>Figura 32</i> Curva de ácido gálico para el cálculo de los compuestos fenólicos de los aceites obtenidos por diferentes métodos de extracción.	103
<i>Figura 33</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por prensado.	110
<i>Figura 34</i> Cinética de orden 2 1/índice de acidez vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por prensado.	110
<i>Figura 35</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pretratamiento enzimático–prensado.	112
<i>Figura 36</i> Cinética de orden 2 1/índice de acidez vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pretratamiento enzimático–prensado.	112
<i>Figura 37</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.	114
<i>Figura 38</i> Cinética de orden 2 1/índice de acidez vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por solvente.	114
<i>Figura 39</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por prensado.	116
<i>Figura 40</i> Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por prensado.	116
<i>Figura 41</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pretratamiento enzimático–prensado.	118
<i>Figura 42</i> Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción con pretratamiento enzimático–prensado.	118
<i>Figura 43</i> Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.	120
<i>Figura 44</i> Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.	120

RESUMEN

Frutos de *Euterpe precatoria* Mart. procedentes del departamento de Loreto-Yurimaguas, se investigaron según sus caracteres morfológicos, análisis proximal, extracción, propiedades fisicoquímicas de aceites crudos y evaluación de la actividad antioxidante. Los resultados morfológicos indicaron longitudes, diámetros y peso de frutos de 1,324 cm. 1,425 cm. y 1,797 g. El análisis químico proximal se realizó en pulpa seca, utilizada para extraer el aceite. El contenido de cenizas, fue similar a los reportado para la especie de *Euterpe oleraceae* Mart. El contenido de lípidos totales fue superior a estudios que reportan un contenido de lípidos de 11,5% en pulpa sin tratamiento, pero menor a los reportado (37%) obtenido por Peña et al (2012). El rendimiento por prensado y pre tratamiento enzimático-prensado fue 31,9% y 35,3%, respectivamente. No se observó diferencia de rendimiento estadísticamente significativa al compararlos. El rendimiento por extracción con solventes fue 42,6% observándose diferencias en la intensidad de color. El IC 50 del aceite obtenido por prensado y pre tratamiento enzimático fue 6,97 mg/mL y 3,61% mg/mL respectivamente; el mejor resultado fue en la extracción por solventes (IC 50 1,82 mg/mL), sin embargo ninguna de los extractos mostro mayor actividad que el trolox. El contenido de fenoles totales de los aceites obtenidos fueron superiores a los resultados reportados en las variedades *Euterpe precatoria* Mart. y *Euterpe oleraceae* Mart., observándose mayor presencia de compuestos fenólicos en *Euterpe precatoria* Mart. Respecto al deterioro hidrolítico el aceite con mejor comportamiento fue el obtenido por prensado en frío (6,5 meses) y el de mejor comportamiento oxidativo fue el obtenido por extracción con solventes (9,02 semanas).

Palabras clave: *Euterpe precatoria*, asaí, extracción de aceites, capacidad antioxidante

Comentario [J1]: cursiva

Comentario [J2]: y

Comentario [J3]:

Comentario [J4]: no repetir

Comentario [J5]: no colocar este valor

Comentario [J6]:

Comentario [J7]: quitar

Comentario [J8]: cursiva y que vaya primero

Comentario [J9]: quitar

ABSTRACT

Euterpe Precatoria Mart. Fruits from the department of Loreto-Yurimaguas were investigated according to their morphological, proximate analysis, extraction, physicochemical properties of crude oils and evaluation of antioxidant activity. The morphological results indicated lengths, diameters and weight of fruits 1.324 cm. 1.425 cm. and 1,797 g. The proximate analysis was performed on dry pulp, used to extract the oil. The ash content was similar to those reported for the species *Euterpe oleraceae* Mart. The total lipid content was higher than studies reporting a lipid content of 11.5% in pulp without treatment, but less than reported (37%) obtained by Peña et al (2012). Yield by enzymatic pre-pressing and pressing treatment was 31.9% and 35.3% respectively. No statistically significant difference was observed when comparing performance. The solvent extraction yield was 42.6% observed differences in color intensity. The IC 50 of the oil obtained by pressing and enzymatic treatment was pre 6.97 mg / mL and 3.61% mg / mL, respectively; the best result was in solvent extraction (IC 50 1.82 mg / mL), however none of the extracts showed greater activity than troop. The total phenolic content of oils obtained were higher than the results reported in varieties *Euterpe precatoria* Mart. and *Euterpe oleraceae* Mart., showing greater presence of phenolic compounds in precatoria Euterpe Mart. Regarding the hydrolytic deterioration best performing oil was obtained by cold pressing (6.5 months) and Best oxidative behavior was obtained by solvent extraction (9.02 weeks).

Keywords: *Euterpe precatoria*, acai, extraction of oils, antioxidant capacity

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación problemática

El Perú posee gran diversidad biológica, posicionándose como el cuarto país en superficie de bosques tropicales y el segundo en bosques tropicales amazónicos ¹. Entre estos bosques la familia de palmeras (Arecaceae), conocida también como Palmae, constituye una de las más grandes familias vegetales características de la flora tropical; ^{2,3} entre ellas, el género *Euterpe*, posee alrededor de 28 especies distribuidas a lo largo de la Amazonia, siendo la especie *Euterpe precatoria* Mart. conocida comúnmente como asaí, asaí de tierra firme o asaí solitario, una de las especies vegetales más importantes con alto potencial económico por su aprovechamiento integral. ^{4,5} Estas palmeras se encuentran principalmente en suelos hidromórficos y arenosos, periódicamente inundados, que cubren gran parte de la Amazonia peruana, *Euterpe precatoria* Mart. posee poblaciones muy densas en suelos generalmente considerados como muy pobres para la agricultura. ⁶⁻⁸

El poblador amazónico la utiliza para elaborar gran variedad de productos como: fruta, aceite, chonta, materiales de construcción y cestería. Las hojas se utilizan para techar casas, la pulpa del fruto para refrescos y vino de palma, la inflorescencia como escobas y estípites para la construcción, el palmito como alimento; a las hojas y raíces se les atribuye también propiedades medicinales.^{6,8,9}

La demanda de palmito a nivel mundial data de las década de los 60, que para abastecer los mercados de Brasil, Argentina, Chile, Europa y Estados Unidos,¹⁰ ha incrementado la explotación y la depredación de este recurso, dado que la mayor parte del palmito comercializado proviene de Sudamérica.¹¹ Sin embargo, al margen de que la producción de palmito en plantaciones ha crecido desde los 90, se siguen extrayendo volúmenes significativos de poblaciones silvestres. *Euterpe precatoria* Mart. es una de las tres especies más importantes que proveen este producto, que por su condición monocaule, la extracción del palmito implica la muerte del ejemplar.^{6,8,10,12}

Frente al detrimento de las poblaciones silvestres a causa de las actividades extractivas, se busca el uso sostenible de este recurso enfocándose en la utilización de los frutos de estas palmeras.^{6,13-15} Así mismo, el incremento de la demanda y búsqueda de nuevas y mejores fuentes de aceites vegetales con fines farmacéuticos, cosméticos, industriales y alimentarios, ha motivado la búsqueda de semillas y frutos oleaginosos en la Amazonía, donde se encuentran las especies oleaginosas más importantes del planeta¹¹. En este contexto, la especie *E. precatoria* Mart. constituye fuente promisoría de aceite.

1.2 Formulación del problema

El problema fundamental de esta especie es su creciente depredación por su explotación como palmito y chonta o jebato, productos alimenticios obtenidos del cogollo de varias especies de palmera, entre ellas asaí (*Euterpe precatoria*

Mart.), el palmito se extrae del cogollo tierno ubicado al cabo del estípite de la palma, formado por hojas aún inmaduras, del cual se elimina la corteza y las capas fibrosas y duras de su interior. Se caracteriza por ser blanco, suave textura suave, flexibilidad y riqueza en fibra. Sólo la parte más fresca del brote el cogollo resulta comestible, lo que conlleva la muerte de la especie.¹⁰ Por ello, en la presente investigación, se busca ampliar el conocimiento tecnológico de extracción de aceite de *Euterpe precatoria* Mart. a partir de frutos maduros con el fin de contribuir al aprovechamiento sostenible de esta especie.

1.3 Justificación teórica

La familia de palmeras (Arecaceae), conocida también como Palmae, constituye una de las más grandes familias vegetales del mundo, característica de la flora tropical. Las palmeras se sub dividen en 6 familias y presentan 200 géneros y 1500 especies. El género *Euterpe*, congrega cerca de 28 especies distribuidas a lo largo de la Amazonia, siendo *Euterpe precatoria* Mart. conocida como asaí, asaí de tierra firme o asaí solitario^{16,17}. Existen dos especies vegetales bajo el nombre común de Asaí, la especie *Euterpe oleraceae* Mart.: principalmente de origen brasileño, recolectada y cultivada como producto líder en la exportación de frutos oleaginosos en Brasil; y *Euterpe precatoria* Mart: principalmente nativas de Perú y Bolivia, destinadas principalmente al autoconsumo.¹⁸ Se diferencian por su morfología de crecimiento y composición química por su contenido de constituyentes químicos con capacidad antioxidante.^{11,19,20}

Por la importancia económica en las exportaciones brasileñas, se han realizado numerosas investigaciones particularmente, la evaluación de la actividad en extractos de raíces hojas y pulpa, evaluación de las capacidad antioxidante y citotoxicidad de la pulpa, calidad y rendimiento del aceite a partir de especies mejoradas (BRS-Pará).

Respecto a *Euterpe precatoria* Mart. se han realizado algunos estudios a nivel fitoquímico y farmacológico dirigidos al aislamiento de constituyentes químicos anti-maláricos de la lignina (ácido p-hidroxibenzoico) y a partir de raíces y hojas (dihidroconiferil dibenzoato).²¹ Se ha investigado el perfil de ácidos grasos reportándose gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, que representan el 71% del total de lípidos, destacándose el alto contenido de ácido oleico (18:1), seguido de linoléico (18:2) y α -linolénico (18:3), los valores en ácido oleico pueden compararse a lo aportado por el aceite de oliva y canola (77,0 y 61,5%, respectivamente). Silva Do Nascimento²², ha comparado la calidad de aceites obtenidos por métodos de extracción enzimática y por solventes, no reportándose diferencias significativas respecto a la calidad.

1.4 Justificación práctica

Actualmente frente al incremento de la demanda y búsqueda de nuevos y mejores fuentes de aceites vegetales con fines alimentarios, industriales, farmacéuticos y cosméticos, se ha motivado la búsqueda de nuevas semillas o frutos oleaginosos, siendo, en este contexto, la especie *Euterpe precatoria* Mart. fuente promisoría de aceite vegetal posee aproximadamente 42% de lípidos en base seca. Sin embargo, las investigaciones se han enfocado en el análisis de pulpa entera.

La importancia de este trabajo es en primer lugar, determinar el método para mejorar el rendimiento del aceite de asái y evaluar su calidad utilizando diferentes métodos de extracción en función a la capacidad antioxidante del aceite en sí mismo, es decir aislado de la pulpa, las características físico-químicas y estabilidad. La determinación de este conocimiento contribuirá al incremento del valor agregado transferido a este tipo de productos, lo cual será aprovechado por las organizaciones empresariales y comunidades nativas que dependan de esta fuente de recursos para su sustento económico²³

1.5 Objetivos

Objetivo general

Comparar el rendimiento y la calidad del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. obtenido con diferentes métodos de extracción.

Objetivos específicos

1. Evaluar el rendimiento con diferentes métodos de extracción: presando en frío, pre tratamiento enzimático-presado y solventes.
2. Evaluar características físico-químicas del aceite.
3. Evaluar la capacidad antioxidante del aceite extraído por presando en frío, pre tratamiento enzimático-presado y solventes.
4. Determinar su estabilidad.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.Marco filosófico o epistemológico de la investigación

La investigación se ha realizado a través de un diseño observacional con un diseño descriptivo transaccional transversal, empleándose el procedimiento de experimentos, con el objetivo de indagar la incidencia y los valores en los que se manifiestan una o más variables del estudio. Consiste en medir un grupo de personas u objetos una o, generalmente más variables y proporcionar su descripción. Esta investigación es un estudio indagatorio descriptivo, que establece hipótesis. Para el efecto, se utilizarán el método cuantitativo ya que el interés principal es descubrir, verificar o identificar relaciones causales entre conceptos que proceden de un esquema teórico previo. Se controla las variables en lo posible y se emplea la asignación aleatoria u otras técnicas de muestreo con objeto de minimizar el efecto de las variables presentes que podrían influir en los resultados de la investigación. Con frecuencia se emplea un grupo de control con el fin de evaluar el impacto de la no intervención. Los datos son recogidos a través de procedimientos aceptados. Para analizar la información se emplean procedimientos estadísticos de diversa complejidad.²⁴

2.2. Antecedentes

Euterpe precatoria Mart. es una especie de palmera nativa de Sudamérica, localizada principalmente en la Amazonía peruana, boliviana y brasileña y también en Centroamérica y las Antillas conocida comúnmente como palmito, manaca, chonta, asaí de la selva o huasaí. Su consumo data de tiempos precolombinos y es un alimento muy importante en la dieta amazónica ya que sus frutos y derivados son altamente oleaginosos y de sabor agradable consumido en bebidas (chicha, “leche”, masa o subproductos, dulce, y helados.^{25,26}

Del fruto se extrae aceite y un colorante negro utilizado con fines ceremoniales^{6,27}. El principal uso de esta especie es como alimento, pero también posee utilidad para la construcción. Respecto a sus propiedades medicinales, las raíces son utilizadas como analgésico muscular y antiofídico, y la decocción de las hojas en el alivio del dolor de pecho.^{28,29}

Bajo el nombre común de asaí se comercializan dos especies diferentes localizadas en el Amazonas: *Euterpe oleraceae* Mart. y *Euterpe precatoria* Mart. Se diferencian entre sí a nivel morfológico, en términos de crecimiento y en composición fitoquímica en relación al contenido de constituyentes químicos con capacidad antioxidante.³⁰

La especie *Euterpe oleraceae* Mart., es un importante recurso en la economía brasileña por su utilidad en la elaboración de zumos de fruta, alta capacidad antioxidante y su aplicación como ingrediente funcional o alimento^{5,10,22}. Para la sostenibilidad del recurso, Brasil, ha desarrollado el cultivo y mejoramiento de la especie (BRS-Pará) del que se obtiene pulpa y aceite de similar actividad antioxidante que las especies silvestres.^{5,19,26} En contraste para *Euterpe precatoria* Mart., nativa de Perú y Bolivia los estudios siguen siendo escasos, entre las investigaciones respecto a extractos de pulpa, se han reportado resultados relacionados a la actividad antioxidante (ORAC, DPPH) y anti-

inflamatoria basado en ensayos celulares de protección antioxidante en eritrocitos (CAP-e), factor nuclear kappa B (NF-kB) y secreción embrionaria de fosfatasa alcalina (SEAP), infiriéndose la superioridad de la capacidad antioxidante del fruto de *E. precatoria* en relación a la especie *E. olaraceae* Mart.

En raíces, tallos y hojas, a partir de los extractos de hexano, acetato de etilo y metanol de los que se aislaron por cromatografía, sustancias puras y mezclas. Con excepción de β -sitosterol, estigmasterol y ácido p-hidroxi-benzoico, todos los compuestos aislados, aunque conocidos, se describieron por primera vez en el género *Euterpe*.^{30,31} También se ha hallado un aumento progresivo de la proporción de estigmasterol en relación con β -sitosterol en la raíz siendo el grado de incidencia de la luz sobre la bioconversión de β -sitosterol a estigmasterol considerado como el factor determinante. Además se ha reportado alta capacidad antioxidante de estos extractos, demostrándose que los efectos hepatoprotectores atribuidos, están asociados a la alta capacidad antioxidante de flavonoides (quercetina, rutina y catequina).²

Se ha investigado el perfil de ácidos grasos reportándose alta cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, los que representan el 71% del total de lípidos, destacándose el alto contenido de ácido oleico (18:1), seguido de linoléico (18:2) y α -linolénico (18:3), siendo los valores en ácido oleico comparables a lo aportado por el aceite de oliva y canola (77,0 y 61,5%, respectivamente). Además, se ha comparado la calidad de aceites obtenidos por métodos de extracción enzimática y por solventes, no reportando diferencias significativas respecto a la calidad.²²

Los frutos de palmas difieren de otros frutos carnosos que cuentan con protocolos de procesamiento, por su morfología y composición generalmente alta en grasas. En el caso de la obtención de pulpa de *Euterpe precatoria* Mart. la estandarización de un protocolo para la obtención y conservación de pulpa

que habilite su uso y aprovechamiento, ha sido propuesta por Peña et al. 2012³², que propone el siguiente método de obtención de pulpa (*Fig. 1*)

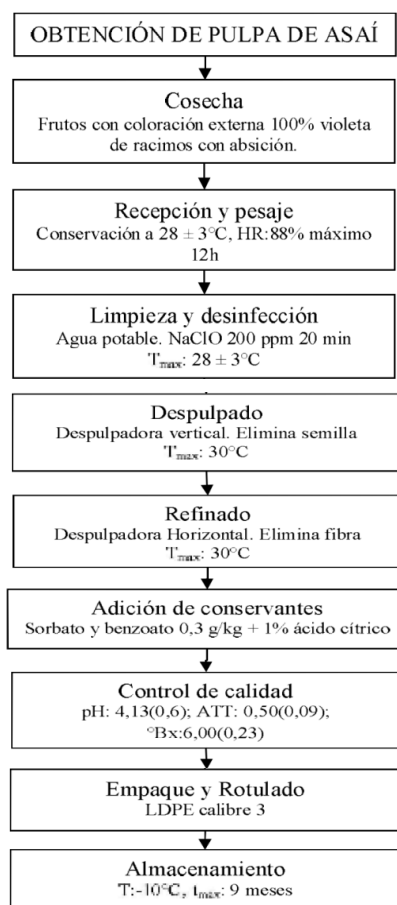


Figura 1 Diagrama de flujo de la producción de pulpa de Asaí. ³²

Respecto a la caracterización bromatológica, y fisicoquímica de la pulpa del Asaí, Castillo et al. 2012³³, refieren que el refinado de la pulpa modifica su composición en grasa y fibra. Las condiciones del proceso de despulpado pueden modificar el contenido de humedad y cenizas de la pulpa. De otra parte, las características fisicoquímicas de la pulpa parecen no alterarse con la filtración, respecto al color, y porcentaje de sólidos solubles totales que

presentaron diferencias tras el refinado, como tampoco el pH y la acidez. (cuadro 1 y 2)

Cuadro 1 Análisis proximal de pulpa de *Euterpe precatoria* Mart. ³²

	PULPA FILTRADA	PULPA SIN FILTRAR
Humedad (%)	97,1341 \pm 0,0152	97,2737 \pm 0,0196
Cenizas (%)*	4,0207 \pm 0,2247	2,4805 \pm 0,1253
Extracto Etéreo (%)*	11,4946 \pm 0,9030	33,1266 \pm 4,2929
Fibra Cruda (%)*	4,4740 \pm 0,5630	12,6213 \pm 0,3991
Proteína (%)*	0,03	0,03
Carbohidratos (%)*	80,5	82,2
*Base seca		

Cuadro 2 Análisis fisicoquímico de pulpa de *Euterpe precatoria* Mart filtrada. ³³

	PULPA FILTRADA	PULPA SIN FILTRAR
pH	4,38 \pm 0,0	4,38 \pm 0,0
Acidez Titulable (%)	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0
°Brix (%)	5,4	5,4
Color		
L	30,51 \pm 2,0	30,51 \pm 2,0
C	10,03 \pm 1,18	10,00 \pm 1,18
H	36,96 \pm 1,97	36,96 \pm 1,1

Al respecto, Pacheco-Palencia et al. (2009) realizaron un estudio comparativo entre la pulpa de la especie *Euterpe precatoria* Mart. y *Euterpe oleraceae* Mart., concluyendo que poseen similares perfiles caracterizados por la presencia predominante de antocianinas, que representaron aproximadamente el 90% de la capacidad antioxidante total en ambas frutas de Asaí. Los cambios en la actividad antioxidante durante el calentamiento se correlacionaron con las pérdidas de antocianina, mientras que los fenoles totales no se alteraron significativamente por la exposición térmica. ²⁸

2.2.1. Ubicación taxonómica y descripción morfológica

Ubicación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Aracaceae

Género: Euterpe

Especie: precatoria Mart

Euterpe precatoria Mart., es una palmera monocaule, arborescente, hasta de 20 m. de alto, tradicionalmente utilizada para la obtención de palmito en la Amazonía peruana, boliviana y brasileña y también en Centroamérica y las Antillas conocida comúnmente como Palmito, Manaca, Chonta, Asaí de la selva o Huasaí. Su consumo data de tiempos precolombinos y es un alimento muy importante en la dieta amazónica ya que sus frutos y derivados son altamente oleaginosos y de sabor agradable.^{2,6}

La palmera del Asaí puede desarrollarse de 15 a 30 metros. La madures sexual es entre los 10 a 15 años, cuando la planta mide 12 metros. (figura 2)

Estípites: el diámetro oscila entre 4 a 23 cm. de color grisáceo con cicatrices anulares. De crecimiento solitario y adaptado a condiciones de dosel.

Hojas: compuestas de 5 – 10 foliolos pinnados en un plano horizontal y tienen entre 2 a 3 metros de largo; los pecíolos forman un envoltorio verde al final del tallo de 1 a 1.5 m. de longitud, de donde se extrae el palmito.

Flores: Las flores masculinas poseen coloración amarilla y rosada, mientras que las flores femeninas son de color café claro.¹⁶

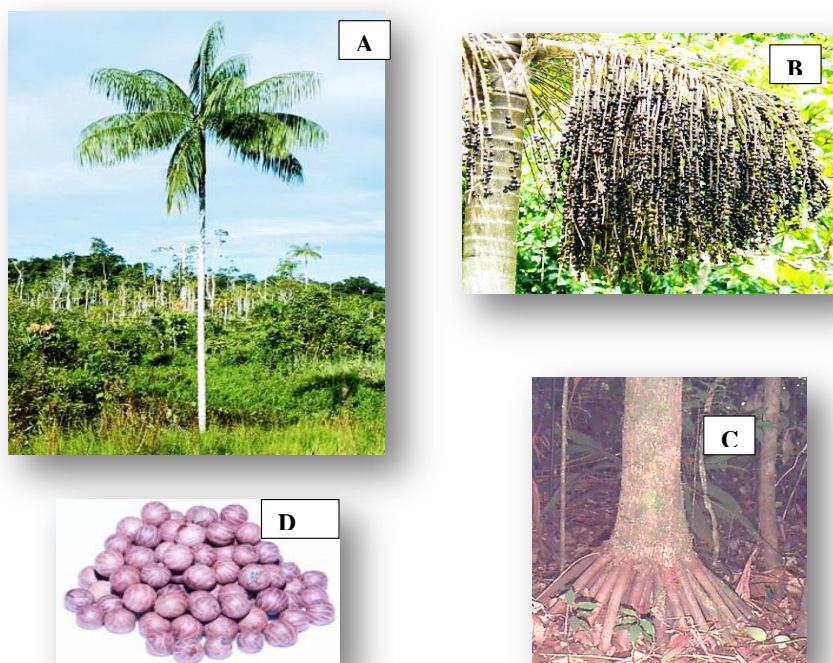


Figura 2 A. Palmera monocaule, B. infrutescencia, C. raíz, D. semillas de *Euterpe precatoria* Mart.³⁴

Frutos: El fruto es una drupa globosa, con residuos de flores, con diámetros que van entre 1 cm y 2 cm y un peso de 1,5 g, el fruto inmaduro es verde y morado oscuro cuando está maduro (figura 3). Los racimos que produce la planta contienen de 700 a 900 frutos. Al caer los frutos de la planta, estos germinan rápidamente al contacto con el suelo. Las aves, roedores, caudales de agua son los medios de propagación de la especie.⁹. El epicarpio en fruta madura, es casi negro de color violeta o verde, dependiendo del tipo. El mesocarpio es pulposo y delgado, con un espesor casi siempre menos que o igual a 1 mm y consiste en el endocarpio voluminoso y duro que contiene una semilla dentro, con embrión diminuto con abundante endospermo.¹⁶

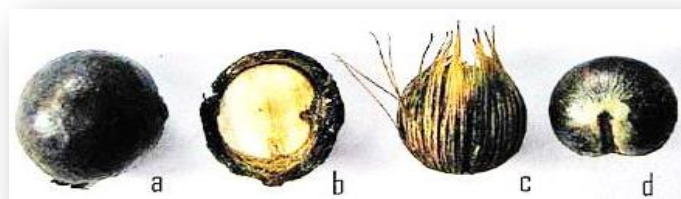


Figura 3 Fruto de asaí (*Euterpe precatoria*). a. Asaí entero con la superficie lisa y residuo estigmático lateral. b. Corte longitudinal con mesocarpo (pulpa) delgado y endospermo blanco. c. Fibras longitudinales de la pulpa. d. Semilla rodeada por endocarpo ⁹

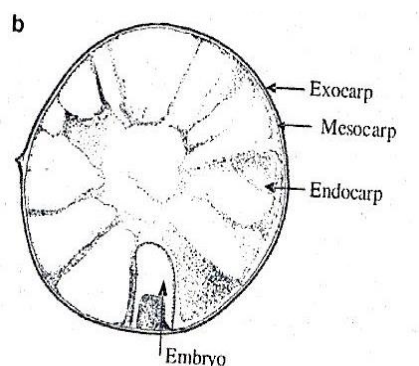
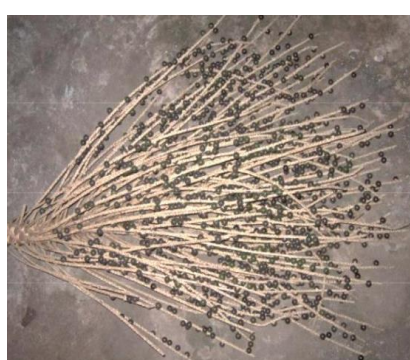


Figura 4 Infrutescencia de *Euterpe precatoria* Mart., nótese los frutos de color negro distribuidos en las raquillas (Foto M.J. Velarde) (a) y corte transversal del fruto (b)

2.2.2. Hábitat y recolección

Euterpe precatoria Mart. crece de manera solitaria, en tierra firme, al norte de Sudamérica, en la amazonia brasileña, cuenca del Orinoco, costa pantanosa de Colombia y Ecuador al igual que *Euterpe olaraceae* Mart., crece también en la cuenca amazónica occidental de Perú y Bolivia. ^{35,36}

Los tallos producen de una a cuatro inflorescencias al año, aparentemente la palmera florece y fructifica durante todo el año. En la región de la amazonia peruana, los habitantes de la zona reportan una máxima de fructificación de

noviembre a diciembre. Como promedio, la palmera produce 1,738 frutos por infrutescencia, aunque se han reportado hasta 3.000 frutos por infrutescencia en Iquitos (Kahn y de Granville, 1992). Estos frutos son consumidos por animales, entre los que se incluyen pequeños mamíferos, aves y peces, los cuales son considerados dispersores de semillas. (cuadro 3)

Cuadro 3 Hábitat y recolección de *Euterpe precatoria* Mart.

Suelo	Tierra firme
Clima	Tropical húmedo
Temperatura	25-27°C
Altitud	110 a 1.800 m
Hábitat	Bosque primario muy húmedo y pluvial.
Edad	Llega a la madurez de 5-6 años
Estación	La estación de recolección varía según la zona de crecimiento, en Perú es de Noviembre a Marzo.

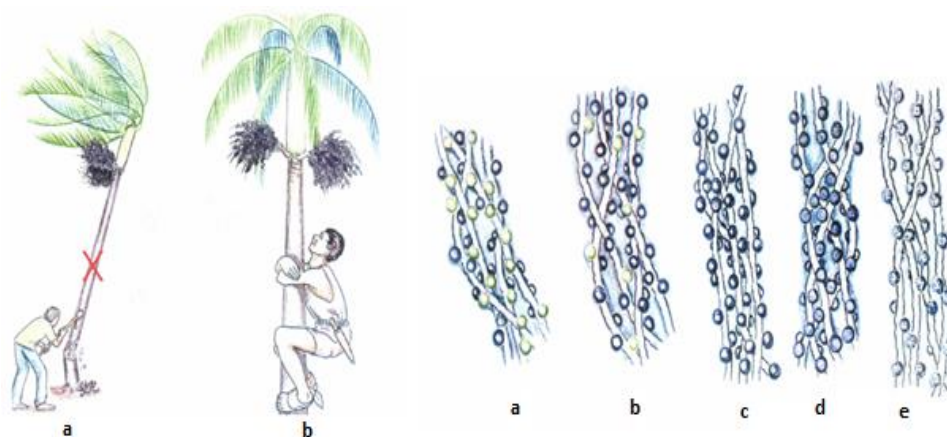


Figura 5 Métodos de recolección: Izquierda a) destructiva b) no destructiva. Derecha estadio de maduración de los racimos: a) verde, b) vitrin, c) negro, d) tuira, e) bien maduros. Formas de colectar de racimos de *Euterpe precatoria* Mart. ²²

2.2.3. Usos y aplicaciones

Alimenticio: los frutos maduros se utilizan y consumen crudos y/o cocidos, para la preparación de bebidas y extracción de aceite; el palmito es comestible y uno de los más apetecidos, y las flores son consumidas en alimentos y bebidas.^{2,3,37,38}

Medicinal y cosmético: las raíces son utilizadas para la elaboración de extractos contra la malaria, hepatitis, fiebre amarilla, dolor de espalda, huesos, infección de útero, riñones y dolores estomacales; y el aceite extraído del fruto se es utilizado para fortalecer el cabello.^{6,8,11,35}

2.2.4. Importancia del recurso

Euterpe precatoria Mart. ha sido aprovechada como recurso desde fines de los años 60 e intensificándose la demanda alrededor de los años 90, se instalaron plantas de extracción de palmito y las tasa de extracción se incrementó a medio millón el 93 a 7 millones el 97, actualmente existen pocos planes de manejo para el aprovechamiento de palmito en Perú y Bolivia y aparentemente ningún caso en que se han aplicado normas de protección. La extracción de palmito ha sido una actividad de explotación similar a la minería sin regular y garantizar su sostenibilidad³⁹. Por otro lado, entre 2008 a 2009 en Estados Unidos se generó un gran demanda de los frutos de asaí que incluyen a *Euterpe precatoria* Mart. y *Euterpe oleraceae* Mart., debido a su valor nutritivo y el gran contenido de antioxidantes. Ningún suplemento alimenticio ha mostrado un patrón de interés mundial como el asaí, incluso por el extraordinario incremento de demanda en 2008 y posterior caída. Según W&G Global Trade, Brasil vende al año asaí por el valor de 45 millones de dólares por año, y exporta aproximadamente 1000 toneladas por mes principalmente a los Estados Unidos, Japón, Italia y Holanda. El principal producto de exportación es bajo forma de jugo de asaí mezclado con frutos como la acerola (*Malpigia emarginata* L.) y guaraná (*Paullinia cupana Kunth*).⁴⁰

2.3.Bases teóricas

2.3.1. Aplicación cosmética de ácidos grasos

En cosmética, los aceites naturales y los lípidos se utilizan para diversos fines: como emoliente ya que brinda suavidad y flexibilidad, debido a la retención de humedad y la interacción entre la piel y los lípidos cosméticos; lubricante, y adherente, además del brillo, y la pigmentación que se valora como importantes beneficios de la utilización de lípidos en los cosméticos. Entre los beneficios bioquímicos, ácidos grasos esenciales como el ácido linoléico, que no sintetizan los mamíferos se transforman en ácido gamma linoléico, un agente anti-inflamatorio.⁴¹⁻⁴³ Los ácidos grasos en los aceites de semillas y pulpas de uso cosméticos contienen una variedad de ácidos grasos que transfieren propiedades beneficiosas en los productos cosméticos y de cuidado personal. Los ácidos grasos se dividen en ácidos saturados (por ejemplo palmítico; esteárico; araquídico) y ácidos insaturados (por ejemplo oleico; linoléico). Los ácidos palmítico, oleico y esteárico se sintetizan en el organismo a diferencia del ácido linoléico, que en déficit causa signos de piel reseca y escamosa, uñas grietadas, y pérdida de cabello, así como el incremento de pérdida de agua transepidérmica. El ácido linoléico es el ácido graso más frecuentemente utilizado en los productos cosméticos, ya que hidrata la piel, ayuda en el proceso de curación de las dermatosis y quemaduras solares y se utiliza para el tratamiento de *Acne vulgaris*. Por otro lado, el ácido oleico se comporta como un eficaz promotor de la absorción percutánea. La penetración de algunos medicamentos es notablemente mejorada incrementando la difusividad y la partición, así como la fluidez y el flujo por la interacción con lípidos subcutáneos^{44,45}. De los ácidos grasos insaturados, el ácido oleico muestra mejor efecto potenciador de la permeación, mientras que entre los ácidos grasos saturados, el ácido palmítico potencia la permeación de la piel más potente efecto potenciador⁴⁵. Efectos para mejorar la permeación de la piel también se registraron en ácido linoléico, láurico, mirístico y esteárico. Los ácidos grasos son los más atractivos potenciadores de la permeación de la piel

utilizados en el suministro de fármacos transdérmicos y también como adyuvante en cosméticos y productos farmacéuticos, ya que la mayoría de los ácidos grasos son componentes endógenos de la piel del hombre⁴⁶. Las estructuras químicas de los ácidos grasos se muestran en la figura 6.

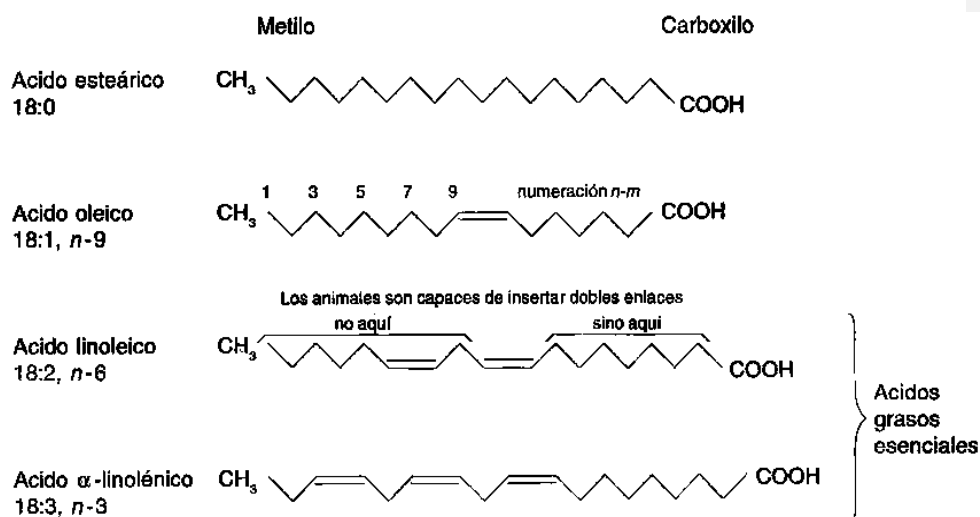


Figura 6 Estructura de ácidos grasos esenciales y no esenciales ⁴⁷

2.3.2. Métodos de extracción de aceites

La extracción acuosa, el prensado y la extracción por solventes son los métodos básicos para la extracción de aceites. El prensado mecánico (hidráulico y tornillo) se ha practicado durante miles de años ⁴⁸. La extracción acuosa ebulle la materia oleaginosa, pulpa o semilla para la separación parcial del aceite ⁴⁹. El método más utilizado convencionalmente es la extracción con solventes ⁴⁸.

Actualmente está estudiándose y desarrollándose nuevos métodos de extracción de aceites para reducir el deterioro del aceite en el proceso de extracción y en consecuencia evitar la contaminación del producto (solventes

residuales en el caso de extracción por solventes), el deterioro de componentes termolábiles (compuestos antioxidantes, vitaminas, etc.) En el cuadro 4 se muestran los diferentes procesos de extracción de aceites.

Cuadro 4 Procesos de extracción de aceites.⁵⁰

Proceso de extracción	Ventajas	Desventajas	Refinación, desodorización y blanqueo	Ejemplos
Prensado en frío o centrifugación	Retiene compuestos menores como volátiles, compuestos fenólicos y clorofilas	Bajos rendimientos de aceite	No	Aceite de oliva virgen, aceite de palta, aceite de cáñamo
Extracción mediante fluidos supercríticos (CO ₂)	Proceso no tóxico y más seguro que la extracción con hexano. No requiere eliminar solventes de la miscela o harina residual	Más caro. Los rendimientos pueden ser menores a los obtenidos con hexano	Opcional	Aceite de avena
Extracción con etanol	Solvente menos tóxico y más seguro que el hexano	Más difícil de remover los extractos no lipídicos de la miscela y la harina	Si	Aceite de grano de maíz
Prensado estándar	Tecnológicamente simple y económico para producción a gran escala industrial	Menor rendimiento que la extracción con hexano, las altas temperaturas causan algunos cambios químicos en el aceite y la harina	Si	Aceites commodities
Extracción con hexano	Bajo costo, altos rendimientos	Problemas para la salud y de seguridad	Si	Aceites commodities
Pre-prensado + extracción con hexano	Bueno para semillas con >20% aceite	Requiere más equipamiento	Si	Aceites commodities
Extracción acuosa enzimática	Técnica suave, ambientalmente limpia	Altos costos de las enzimas, rendimiento menor a la extracción con hexano	Opcional	En desarrollo

2.3.3. Extracción por solventes

La extracción por solvente se originó como un proceso por lotes y fue desarrollado para los sistemas continuos de extracción de solventes. La extracción se lleva a cabo comúnmente en contra-corriente para maximizar la recuperación y reducir al mínimo el uso de solventes.^{51,52}

Los extractores comerciales operan mediante dos métodos:

- Percolación.- el solvente se difunde desde la parte superior del lecho a una velocidad determinada por la resistencia del lecho al flujo por gravedad del solvente. El proceso de percolación se basa en el principio de humectación permanente de la superficie por el solvente asegurando que el solvente saturado sea permanentemente reemplazado por solvente/micela no saturado, los solventes efluyen del percolador con 25-30% de aceite y la harina desgrasada retiene de 30 a 35% de solventes en peso, los solventes se separan del aceite por evaporación y destilación al vacío.⁵²
- Inmersión.- la muestra se encuentra completamente sumergida en el solvente. La micela altamente concentrada es reemplazada por solvente fresco, el sistema estático necesita agitación para asegurar que el solvente concentrado sea reemplazado lo que incrementa la formación de partículas muy pequeñas que deben ser removidas de la micela. Generalmente, el proceso de inmersión es más apropiado que el de percolación si el aceite tiene que ser extraído a partir de muestras con alto contenido de fibra o baja concentración de aceite ⁴⁷.

En la célula, el aceite cercano a la pared celular será de rápida extracción, sin embargo, el aceite lejano a la pared celular recorrerá mayor distancia para poder ser arrastrada por el solvente hasta la corriente de la micela; por ello el tiempo de contacto durante la extracción (transferencia de masa) es importante, independientemente del tipo de extractor utilizado. El tiempo de extracción influye sobre la velocidad de extracción debido a que los procesos de disolución y difusión requieren de un cierto tiempo operativo. El tiempo requerido depende de la clase de semilla, su pre tratamiento y el equipo utilizado⁵³.

2.3.4. Extracción con fluidos supercríticos

La extracción con fluido supercrítico se desarrolló usando dióxido de carbono en lugar de disolventes orgánicos. Darr y Poliakoff (1999)⁵⁴ definen a un fluido supercrítico como cualquier sustancia cuya temperatura y presión son más altas que sus valores críticos y su densidad aproximada o mayor que su densidad crítica. Por encima del punto crítico de una sustancia pura, no puede existir equilibrio líquido-vapor. Los fluidos supercríticos exhiben propiedades intermedias entre gases y líquidos. Este método es igual de eficiente que la extracción con solventes y los aceites son de mejor calidad.⁵⁵ El aceite saturado con CO₂ puede ser liberado por reducción de presión o temperatura.⁵⁵⁻⁵⁷ La baja temperatura durante el proceso y la ausencia de solventes residuales hace que el deterioro del aceite sea mínimo.⁵⁶

Actualmente, este método compite con los procesos de extracción tradicionales al aplicarse para la obtención de productos de alto valor agregado (ácidos grasos poliinsaturados, aceites cítricos esenciales, etc.) o cuando se procesan grandes volúmenes de materiales. Sin embargo, las regulaciones cada vez más estrictas en relación con los efectos sobre la capa de ozono, la descarga de compuestos orgánicos volátiles y concentraciones residuales en el producto final para la protección de los consumidores y el ambiente, facilitarán el desarrollo de procesos de extracción y fraccionamiento supercrítico, haciéndolos más competitivos que en la actualidad.

2.3.5. Extracción por prensado

El prensado mecánico (hidráulico y tornillo) es el método más antiguo y más simple para la extracción de aceites. No se usa ningún producto químico para la extracción de aceites y, por tanto, el aceite está libre de residuos. Es una técnica de mano de obra intensiva. Si bien hasta los años 1990s la extracción directa mediante prensado era raramente llevada a cabo debido a sus bajos

rendimientos, actualmente, bajo consideraciones de protección ambiental, este proceso está cobrando nuevamente interés ⁴⁷.

Las prensas abiertas son comúnmente utilizadas para la extracción de aceite de oliva; para semillas oleaginosas, se usan casi exclusivamente las prensas de tornillo sinfín. Una prensa consta de una matriz, el diámetro de la salida de la torta, y el diseño del tornillo determina la presión dentro de la prensa. Se pueden alcanzar presiones de hasta 3000 bar provocando temperaturas de hasta 170°C dependiendo del tipo de prensa. En condiciones normales, para pre-prensado se alcanzan 30-40 bar en combinación con una temperatura de aproximadamente 95°C; para prensado directo el objetivo es alcanzar 400 bar en combinación con 115-125°C y por lo tanto, no puede ser denominado "prensado en frío". El proceso de extracción por prensado es influenciado por varios parámetros tales como el contenido de humedad, la capacidad de la prensa y la potencia aplicada. El aceite obtenido por prensado debe ser posteriormente purificado mediante el uso de separadores, filtros y decantadores ⁴⁷. Por otra parte, la torta o expeler debe ser desintegrada mediante trituradores para la posterior utilización de la harina ya sea en la extracción con solventes o para procesarla como tal (figura 7).

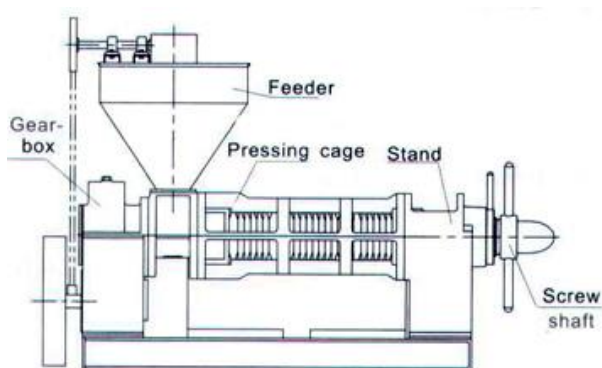


Figura 7 Esquema de estructura interna de "expeller"⁵⁸

Una alternativa al prensado por expeler es el proceso de prensado en frío, en el cual la materia prima no se somete a calentamiento previo durante la extracción, que permite la retención de una mayor cantidad de compuestos fitoquímicos de interés como antioxidantes naturales. La prensa utilizada comúnmente es la de tornillo helicoidal, aplicando una presión de molienda. Otro tipo de prensa es la que aplica presión directamente sobre las semillas ubicadas en una matriz con orificios laterales que permite la separación del aceite de la muestra ⁵⁹ (Fig.9)

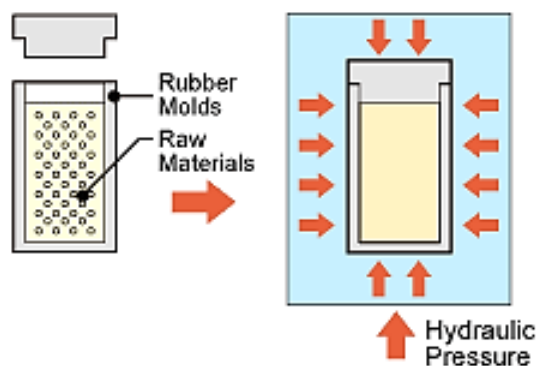


Figura 8 Esquema de prensa hidráulica para prensado en frío. ⁵⁹

2.3.6. Extracción acuosa

El método de extracción acuosa se realiza artesanalmente sujeto a diversas costumbres y tradiciones de las comunidades indígenas. El aceite se obtiene separando por maceración la pulpa de la semilla, y ebulviendo la pulpa hasta que sobrenada el aceite, para separarse por decantación; también se puede separar el aceite utilizando una prensa artesanal, con una eficiencia aproximada de 35%.^{60 61}

2.3.7. Extracción enzimática-prensada

Actualmente se están desarrollando métodos de extracción asistida por enzimas debido a la necesidad de tecnologías de extracción que amigables con el medioambiente. Una aplicación particularmente útil de las enzimas es el aumento del rendimiento y/o la reducción del uso de solventes necesarios para la extracción.

La extracción acuosa enzimática es una tecnología emergente en la industria de grasas y aceites ya que ofrece ventajas en comparación con la extracción convencional ⁵². Se elimina el consumo de solventes reduciendo los costos de inversión y los requisitos de energía ⁶². Posibilita la recuperación de aceite y de proteína de manera simultánea., además la calidad de los aceites obtenidos con tratamiento enzimático es relativamente buena en comparación con extraídos con solventes.

La hidrólisis enzimática de la pared celular es una opción para el tratamiento previo de las muestras oleaginosas, ya que hidroliza los complejos de lipoproteínas y lipo-polisacáridos en moléculas más simples, liberando de esta manera aceite extra para la extracción. Por ello, el prensado en frío asistido por enzima es una alternativa ideal para la extracción de muestras oleaginosas, donde el conocimiento previo de la composición de la pared celular de la muestra es útil para la selección de las enzimas. ⁶³

2.3.8. Procesos químicos en el deterioro de aceites

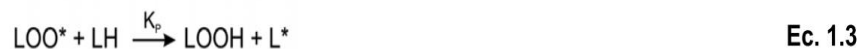
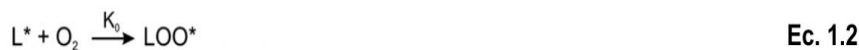
Oxidación lipídica: Los lípidos insaturados pueden sufrir procesos de deterioro durante el procesamiento, almacenamiento y/o manipulación. Estos procesos pueden dar origen a compuestos tóxicos y afectar tanto las propiedades funcionales de sus componentes, como su valor nutricional ⁶⁴. La auto oxidación de lípidos se produce a través del mecanismo de radicales libres, el cual puede describirse mediante una serie de etapas que se detallan a continuación. ⁶⁵

- *Iniciación:* La oxidación directa de los lípidos insaturados por el oxígeno triplete (la forma más estable del oxígeno) es termodinámicamente desfavorable, dado que los dobles enlaces de los ácidos grasos se encuentran en estado singulete y tal reacción no cumpliría con la regla de la conservación del spin. En función de ello, la producción de los primeros radicales debe estar catalizada. En presencia de factores de iniciación o iniciadores (I), los lípidos insaturados (LH) pierden un radical hidrógeno (H^*) de la posición α con respecto a los dobles enlaces del ácido graso para formar un radical libre lipídico (L^*) según la reacción:



Los iniciadores pueden producir radicales por disociación térmica de hidroperóxidos presentes como impurezas o por descomposición de hidroperóxidos catalizada por metales o exposición a la luz. Por otra parte, el oxígeno singulete puede reaccionar con los ácidos grasos insaturados con mucha mayor velocidad que el oxígeno triplete generando hidroperóxidos, los cuales pueden servir como iniciadores en las reacciones anteriores. La vía más común de generación del oxígeno singulete es la fotosensibilización de los pigmentos naturales presentes, tales como clorofila, carotenoides, etc.⁶⁵

- *Propagación:* El radical libre lipídico (L^*) reacciona muy rápidamente con el oxígeno molecular para formar radicales peroxilos (LOO^*) (Ec. 1.2). Esta reacción es mucho más rápida que la siguiente, en la cual se transfiere un hidrógeno de otra molécula lipídica LH para dar un hidroperóxido $LOOH$ y otro radical L^* (Ec. 1.3).



La susceptibilidad de los lípidos a la auto oxidación depende de la disponibilidad y de la relativa facilidad de los hidrógenos alílicos para reaccionar con los radicales peroxilos. Debido a la estabilización por resonancia de las especies L^* , pueden formarse hidroperóxidos isoméricos. Los hidroperóxidos son los productos primarios fundamentales de la oxidación lipídica, son relativamente inestables y por ello participan en numerosas reacciones posteriores. En los primeros estadios de la auto-oxidación, su velocidad de formación excede a la velocidad de descomposición; mientras que en los últimos estadios se registra la relación inversa.⁶⁵

- *Terminación:* En las últimas etapas de la oxidación lipídica, la velocidad disminuye, los radicales peroxilos reaccionan unos con otros formando productos no radicalarios (Ec. 1.4).



Los hidroperóxidos pueden sufrir reacciones tales como la homólisis catalizada por metales o calor, generando radicales peroxilos y alcoxilos que pueden continuar la cadena amplificando el proceso de oxidación, o bien formar productos finales no radicalarios⁶⁴. Otras reacciones de terminación involucran la condensación de radicales peroxilos (LOO^*), alcoxilos (LO^*) o alquilos (L^*), siendo dependientes de la presión de oxígeno y de la temperatura. Algunas de estas reacciones se muestran a continuación:



2.3.9. Descomposición de los hidroperóxidos

Los hidroperóxidos generados por el mecanismo de radicales libres sufren una posterior descomposición mediante complejas rutas de reacción que conducen a la formación de una mezcla de sustancias monoméricas, poliméricas y volátiles de bajo peso molecular (productos secundarios) ⁵³ Cada hidroperóxido produce un conjunto de productos de degradación típicos y específicos, dependiendo de la posición del grupo peróxido en la molécula. Estos productos pueden a su vez, sufrir posteriores oxidaciones y descomposiciones, contribuyendo al incremento de radicales libres.⁶⁵

2.3.10. Factores que afectan la velocidad de auto-oxidación lipídica

Diversos factores relacionados con los ácidos grasos presentes, las características físicas y químicas de los aceites, así como la presencia de otros componentes, tienen efecto sobre el proceso de oxidación lipídica. Los principales factores involucrados son:

- *Composición de los ácidos grasos:* El número, posición y geometría de los dobles enlaces afecta la velocidad de oxidación. Las menores energías de disociación para hidrógenos unidos a carbonos se encuentran entre dobles enlaces adyacentes. Por lo tanto, éstos son los sitios más favorecidos termodinámicamente para ser atacados por los radicales peroxilos, por ello a mayor grado de insaturación la velocidad de oxidación es mayor. Por otra parte, los isómeros cis se oxidan más rápidamente que los trans, la longitud de la cadena del ácido graso no tiene efecto aparente en la velocidad o extensión de la formación de radicales y los ácidos grasos libres se oxidan a mayor velocidad que los esterificados.

- *Concentración de oxígeno:* En condiciones de alta concentración de oxígeno (condiciones atmosféricas), la velocidad de oxidación es independiente de la misma; pero a muy bajas concentraciones, la velocidad es aproximadamente proporcional a esta variable.⁶⁶
- *Temperatura:* La velocidad de las reacciones asociadas con la oxidación lipídica aumenta en función del aumento de la temperatura. La temperatura ejerce un efecto sobre la presión parcial de oxígeno así como también actúa disminuyendo la solubilidad del oxígeno.⁶⁴
- *Área superficial:* La velocidad de oxidación se incrementa proporcionalmente al área superficial expuesta de los lípidos.⁶⁴
- *Humedad:* En alimentos con muy baja actividad acuosa ($a_w < 0,1$) la oxidación ocurre a alta velocidad. A medida que la a_w aumenta, hasta aproximadamente 0,3, la velocidad disminuye alcanzando un mínimo, para incrementarse nuevamente a mayores valores de a_w .⁶⁷
- *Agentes pro-oxidantes:* La presencia de trazas de metales de transición, como el cobre y el hierro, producen un efecto de catálisis sobre el proceso de oxidaciones lipídica favoreciendo la formación de radicales libres.
- *Energía radiante:* Tanto la radiación visible, ultravioleta como gamma son promotoras de la oxidación lipídica.⁶⁵
- *Agentes antioxidantes:* Los antioxidantes son un extenso grupo de compuestos químicos que tienen la capacidad de inhibir o retrasar los procesos de oxidación. Estos compuestos pueden clasificarse en dos grandes grupos: sintéticos y naturales. Los antioxidantes sintéticos han sido empleados durante muchos años por la industria de alimentos

aunque en la actualidad son cuestionados por razones de índole toxicológica. Este hecho ha originado una tendencia de sustitución progresiva de los mismos por antioxidantes naturales ⁶⁵. Los antioxidantes pueden actuar a distintos niveles de la secuencia de reacciones del proceso de oxidación lipídica: 1) disminuyendo la concentración de oxígeno, 2) interceptando al oxígeno singulete, 3) atrapando (“scavenging”) radicales libres tales como los radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), 4) uniéndose a metales que actúan como agentes pro oxidantes, 5) favoreciendo la descomposición de productos primarios a compuestos no radicalarios y 6) por interrupción de la cadena de iniciación o propagación transfiriendo átomos de hidrógeno a los radicales lipídicos ($\text{L}\cdot$) y peroxilos ($\text{LOO}\cdot$) ^{51,65,68}.

2.3.11. Calidad de grasas y aceites

La calidad de los aceites y grasas se definen por parámetros físicos y químicos que dependen de la fuente de aceite; variables geográficas, climáticas y agronómicas, las condiciones de procesamiento y almacenamiento, por lo que los criterios de garantía de calidad dependen en del tipo de aceite investigado, y otros factores que varían en función del uso y reglamentos de cada país. ^{69–71}

Además, dependiendo del uso previsto, la calidad del aceite durante el almacenamiento y uso debe ser monitoreado. Los aceites pueden sufrir rancidez hidrolítica, auto-oxidación, foto-oxidación y oxidación térmica. ⁶⁸ En el cuadro 5 se muestran los principales parámetros de calidad de los aceites.

Cuadro 5 Parámetros de calidad de grasas y aceites.⁶⁸

Parámetros	Detalles
Composición y distribución de ácidos grasos	Porcentaje total depende del tipo de material
Densidad relativa	A 20°C o 40°C, relativa al agua al 20°C(<1)
Viscosidad	A 20°C
Color	Visual
Turbidez	Visual o instrumental
Punto de solidificación, título, contenido de grasa sólida, y la curva de enfriamiento	Para los ácidos grasos insolubles en agua
Olor y sabor	Evaluación sensorial
Índice de saponificación	mg de KOH / g
Índice de yodo (iv)	g yodo/100-g muestra (método de Wijs)
Materia insaponificable	g / kg
Índice de acidez (av)	mg de KOH / g
Puntos de humo, de inflamación y combustión.	°C
Estado de oxidación Índice de peróxidos estado (IP) sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) valor para-anisidina (p-ANV) totox OSI, rancimat y el valor AOM lípidos polares polímeros	meq muestra oxígeno/100-g mmol / g mg / kg 2PV + p-ANV - Porcentaje Porcentaje
Materia volátil (%)	A 105° C
Fósforo	mg / kg
Hierro, cobre, plomo, arsénico	mg / kg
Cadmio	ug / kg
Ácidos grasos trans	Porcentaje; medido al 10u
contenido de colesterol	Porcentaje, sobre todo para las grasas

	animales
Contaminantes y sustancias extrañas, incluyendo plastificantes (%)	-
carotenoides y clorofilas	mg / kg
Escualeno	C ₃₀ H ₅₀
Esteroles	Determinación GC
Tocoferoles	Determinación por HPLC
Antioxidantes sintéticos	BHA, BHT, TBHQ, PG
Antiespumantes	Dimetil polisiloxano, solos o con dióxido de silicio.
Metales quelantes	ácido cítrico o citratos, ácido fosfórico.
Inhibidor de la cristalización	Oxiestearina.
Adulterantes	Perfiles cromatográficos utilizando esteroides y otros componentes menores.

Composición de ácidos grasos: Las grasas y aceites contienen varias clases de compuestos ⁷². Estos compuestos son lípidos principalmente neutros que incluyen triglicéridos (triglicéridos), con menores cantidades de diacilglicerol (diglicéridos), monoacilglicerol (monoglicéridos), y ácidos grasos libres. Los triacilglicerol de grasas y aceites contienen una gama de ácidos grasos, y sus arreglos en el esqueleto de glicerol pueden variar, dependiendo de la fuente. La cromatografía de líquidos de alta resolución, así como la cromatografía líquida de gases puede utilizarse para la separación y la identificación provisional de los triglicéridos individuales en función del número de carbonos.

Características de aceites: Las grasas y aceites pasan a través de una serie de fases de cristalización en refrigeración. Por lo tanto, la fusión de cristales, los puntos de fusión de las grasas y aceites proporciona una estimación de su grado de saturación o insaturación, paralelo a la relación de saturación/insaturación determinado por sus ácidos grasos constituyentes. Las

grasas trans, cuando están presentes, tienen un punto de fusión más alto que sus homólogos en cis debido a un mejor empaquetamiento de los ácidos grasos trans en comparación con sus homólogos. Las grasas y aceites a menudo muestran múltiples puntos de fusión, esta propiedad se conoce como polimorfismo. La cristalización de las grasas y aceites ocurre en dos etapas de nucleación y crecimiento. La densidad de los aceites líquidos depende de su composición de ácidos grasos, componentes minoritarios, y temperatura. La densidad de los aceites líquidos está en el intervalo de 0,909 hasta 0,921 y para las grasas sólidas varía entre 0,858 y 0,893. El índice de refracción de los aceites depende del peso y longitud de la cadena de ácido graso, grado de insaturación, y el grado de conjugación. Los triacilglicerolos tienen índices de refracción más alto comparado a sus ácidos libres constituyentes. Los valores del índice de refracción para diferentes aceites varían generalmente entre 1.447 y 1.482.

2.3.12. Pruebas de estabilidad y calidad oxidativa

La estabilidad a la oxidación de aceites depende principalmente de su composición de ácidos grasos y, en menor medida, en la distribución estereoespecífica de ácidos grasos en las moléculas de triacilglicerol. La oxidación puede producirse a través de diferentes rutas e incluye la auto-oxidación, la foto-oxidación, la oxidación térmica, y procesos hidrolíticos, todos los cuales conducen a la producción de sabor y productos nocivos para la salud. Los indicadores de oxidación son pruebas que miden los productos primarios o secundarios de la oxidación, procesos hidrolíticos o de la oxidación térmica.

- *Índice de peróxido (IP)*

Es la medida más común de la oxidación mide los mili equivalentes de oxígeno (hidroperóxidos) por kilogramo de aceite. El método yodométrico de AOCS es el más utilizado. Se espera que el IP máximo de 0,1 y preferiblemente menos de 0,05 para los aceites recién refinados.

- *Dienos y trienos conjugados*

Otro parámetro utilizado en la evaluación de la estabilidad de los aceites es la determinación de los dienos conjugados. Compuestos formados a partir del hidroperóxido en la cadena de un ácido graso poliinsaturado que sufre el desplazamiento de un doble enlace hacia el carbono del grupo metilénico contiguo, con la consecuencia de la formación de un dieno conjugado.

La medida de la absorbancia al UV a 230-234 nm (correspondiente a dichos dienos conjugados) es, por lo tanto, un buen parámetro para evaluar el proceso oxidativo inicial de una grasa. Los aceites vegetales por ejemplo, en sus primeras etapas de oxidación, alcanzan valores de hasta 6% de ácidos grasos diénicos conjugados, pero debe tenerse en cuenta que el proceso sigue la misma curva descrita para el índice de peróxidos, ya que cuando aumenta la velocidad de destrucción de peróxidos, el nivel de dienos conjugados llega a estabilizarse e incluso disminuir con el tiempo. Además, determinados compuestos secundarios de oxidación, procedentes de la destrucción de los peróxidos, pueden también tener estructuras de dieno conjugado que también participarían en la lectura espectrofotométrica. Además, la curva de evolución de la absorbancia a 232 nm, en función del tiempo, es compleja de interpretar, ya que otros procesos como la refinación de las grasas pueden dar origen a la formación de dienos y trienos conjugados.

Considerando estas limitaciones, la medida del porcentaje de dienos conjugados por espectrofotometría UV se muestra como una técnica de gran interés, simple y reproducible, y con escasos requerimientos metodológicos y de habilidad del operador. La lectura espectrofotométrica se realiza por disolución de una cantidad variable de

la grasa. Los valores de este parámetro se correlacionan de forma excelente con los del índice de peróxidos en la mayoría de grasas.⁶⁸

· *Índices de oxidación secundaria*

La formación de compuestos secundarios de oxidación a partir de los hidroperóxidos de los ácidos grasos, así como a partir de otros compuestos secundarios de oxidación, lleva a una mezcla de numerosas especies químicas diferentes, cuya abundancia relativa depende de diversos factores. Entre estos factores destacan: la naturaleza de la grasa, especialmente su composición de ácidos grasos, el tratamiento o tratamientos sufridos por la grasa, y la presencia de antioxidantes y/o pro oxidantes ⁶⁸. Son muchos los métodos que han sido propuestos para evaluar el grado de oxidación secundaria de las grasas y aceites, con una significación claramente diferenciada, ya que el conjunto de sustancias a las que es sensible cada método es también claramente diferente. Los índices más útiles, son el índice de para-anisidina, índice del ácido tiobarbitúrico (TBA) y trienos conjugados ⁶⁸ (cuadro 5)

2.3.13. Aceites como ingredientes naturales de usos cosmético

Los aceites como productos naturales, procedentes de semillas y pulpas oleaginosas se han utilizado comúnmente desde tiempos inmemoriales para uso tópico. En los últimos 100 años, los sustitutos sintéticos y se han utilizado para reemplazar los aceites naturales de semillas. Ahora es parte de una creciente tendencia a sustituir estos sintéticos y volver a la aplicación de los aceites naturales como insumos e ingredientes en la industria cosmética y farmacéutica.⁷³ Los aceites de semillas y pulpa son fuente de micro elementos naturales, tales como ácidos grasos, carotenoides, escualeno, fitoesteres, polifenoles, tocoferoles, y otros compuestos con alta actividad biológica. En los últimos años se ha observado el creciente interés de obtener aceites de semillas no convencionales.⁷⁴ En Perú, los aceites extraídos y utilizados como

producto del conocimiento tradicional poseen una rica historia de uso por la población local como fuente de alimentación, la energía, la medicina y aplicaciones cosméticas. Se utilizan en la producción de lubricantes, jabones y productos de cuidado personal, y tratamiento tópico de caspa, espasmos musculares, varices y heridas y en los últimos años, la demanda de aceites de semillas como ingredientes para alimentos, cosméticos y biocombustible se ha incrementado ya que la industria busca alternativas naturales. En el caso de palmeras, el uso de productos no maderables del bosque se ha visto impulsado, como resultado del renovado interés en productos naturales para la salud y belleza.⁴⁶

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la Investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo básica, experimental y de nivel descriptivo.⁷⁵

3.1.2 Método y diseño de Investigación

Se empleó el método observacional con un diseño descriptivo transaccional ⁷⁵

3.2 Unidad de análisis

Frutos maduros de *Euterpe precatoria* Mart. empleándose la pulpa seca obtenida al separar la exospermo y endospermo de la semilla.

3.3 Población de estudio

Frutos maduros de *Euterpe precatoria* Mart., recolectados y proporcionados por la empresa Chacruna S.A, de Iquitos- Loreto en diciembre de 2013, el

despulpado se realizó en la instalación de la planta piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.4 Tamaño de la muestra

10 Kg. de pulpa seca, asilada a partir de 100 Kg de fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

3.5 Selección de la muestra

Frutos maduros en buen estado de conservación de acuerdo a los siguientes criterios:

3.5.1 Criterios de inclusión

- Pulpa aislada de muestra de frutos maduros de *Euterpe precatoria* Mart. libre de daños por larvas, bacterias microorganismos o traumas mecánicos
- Pulpa seca con 8% de humedad, libre de conservantes.

3.5.2 Criterios de exclusión

- Pulpa aislada de otras especies como *Euterpe olaraceae* Mart., que comparten el mismo nombre común del fruto
- Pulpa aislada de frutos en estado de descomposición o contaminados por su contacto con superficies antihigiénicas

3.6 Técnicas de recolección de datos

3.6.1 Caracterización morfológica de los frutos de *Euterpe precatoria* Mart.

Los frutos recolectados por la empresa Chacrana S.A.C, fueron evaluadas en el Laboratorio de Farmacognosia y Medicina Tradicional, en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM. Se evaluaron 30 frutos respecto a longitud de fruto desde la base hasta el ápice (cm), diámetro del fruto en la parte central (cm), peso de fruto (g), peso de cascara (g) y peso de pulpa (g) a fin de calcular el peso promedio de la exocarpo y mesocarpo y su porcentaje de peso en fruto (anexo).

3.6.2 Obtención de la pulpa de *Euterpe precatoria* Mart.

Los frutos de *Euterpe precatoria* Mart. fueron proporcionados por la empresa Chacrana S.A, localizada en el departamento de Loreto, ciudad de Iquitos en diciembre de 2013, el despulpado se realizó en la instalación de la planta piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias en la Universidad Nacional Agraria La Molina, debido a la poca proporción de pulpa en el fruto de *Euterpe precatoria* Mart. fue necesario realizar dos operaciones de despulpado consecutivas y la adición de agua destilada que facilitó la separación de exocarpo y mesocarpo de la semilla (fig. 10) la pulpa se envasó en bolsas de polietileno y se almaceno a -10°C . Para la ejecución de los métodos de extracción se descongelo la pulpa y se secó en estufa de aire circulante a 45°C por 18 horas hasta 8 % de humedad. (anexo-figura 18)

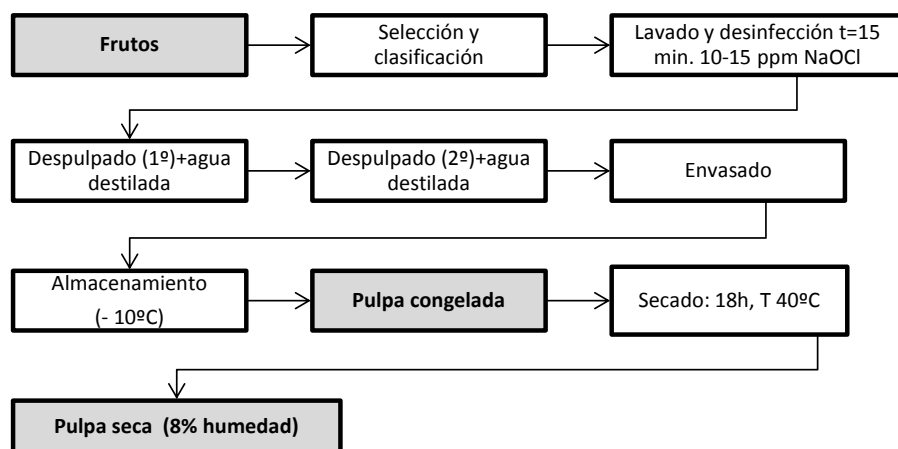


Figura 9 Diagrama de flujo del acondicionamiento de la muestra para la extracción de aceite de *Euterpe precatoria* Mart.

3.6.3 Análisis químico proximal de la pulpa seca del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

La evaluación de humedad, proteína, lípidos totales, cenizas y contenido de fibra se determinaron por triplicado según las técnicas estandarizadas de la Association Official of Analytical Chemistry (AOAC), 2012.⁷⁶ El contenido total de carbohidratos se calculó como la diferencia de un total de 100%.

3.6.4 Obtención de aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

3.6.4.1 Extracción por prensado en frío

Se realizó la extracción en prensa hidráulica piloto. Se pesó de 500 a 650 g de pulpa seca (humedad 12%), se colocó en estufa a 45°C por 30 min. y se transvasó a la matriz de la prensa. El prensado se realizó a presión de 1.000 a 2.000 psi durante 60 min. El aceite obtenido fue calculado gravimétricamente (anexo-figura 19).

3.6.4.2 Extracción con pre tratamiento enzimático y prensado en frío

La digestión enzimática se realizó en marmita con agitador en hélice de acero inoxidable. Se precalentó el buffer fosfato a 40°C, se agregó el complejo enzimático *Pectinex® Ultra SPL - Sigma Aldrich (Pectinase from Aspergillus aculeatus aqueous solution, $\geq 3,800$ units/mL)* al 0.5% en relación al peso de pulpa y finalmente se agregó 6 kg de muestra (previamente autoclavada). El tiempo de incubación fue 180 min, temperatura 40 \pm 2°C, en agitación constante a 120 rpm. Finalmente se secó la muestra a 40° por 8 horas y se prensó. El producto final fue medido gravimétricamente y se almacenó en vidrio ámbar bajo refrigeración. Freitas et al., (1993) (anexo-figura 20).

3.6.4.3 Extracción por solventes orgánicos

Se utilizó el equipo ESL / EV - ESL-M / EV - PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO © Elettronica Veneta S.p.A. del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional del Callao (anexo-figura 21). La planta piloto permitió realizar extracciones sólido-líquido con lo dispuesto en los dos flujos en contracorriente. La muestra, fue almacenada en una tolva, se introdujo en el extractor por medio de un tornillo sin fin. El disolvente, precalentado, se inyectó por la parte superior del extractor por medio de una bomba dosificadora; asegurando el contacto entre la fase líquida y la fase sólida; la mezcla extractora fue 2-propanol: etanol: hexano (1:2,45:1), el tiempo de contacto fue 8 horas y el precalentamiento del solvente extractor a 40°C. Al término, para cuantificación analítica del aceite extraído, se separó el aceite de los solventes en rota vapor a presión -1 bar a 50°C. El aceite obtenido fue calculado gravimétricamente.

3.6.5 Evaluación del rendimiento de la obtención de aceite

Los aceites recuperados, en todos los métodos, fueron pesados y se calculó la eficiencia de extracción de aceite por la ecuación.²²

$$\text{Rendimiento de extracción (\%)} = \frac{\text{Peso de aceite extraído} \times 100}{\text{Peso de aceite en la muestra}}$$

3.6.6 Análisis físico-químico del aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

A los aceites obtenidos por los diferentes métodos de extracción descritos anteriormente se le realizaron análisis que permitieron caracterizar el aceite. Los análisis fueron: índice de acidez, peróxidos, saponificación, yodo, refracción y gravedad específica; se realizaron por triplicado según las técnicas estandarizadas de la Association Official of Analytical Chemistry (AOAC), 2012.⁷⁶

3.6.7 Evaluación de la actividad antioxidante del aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

A todos los aceites se les realizó la extracción de compuestos que poseen capacidad antioxidante, se utilizó metanol: agua (80:20) v/v, en tubo de ensayo, se pesó 1 gramo de aceite y se agregó 3 mL de solvente (Parry et al., 2005), el tubo fue agitado en vortex y centrifugado a 3500 rpm por 15 min, el sobrenadante fue colectado, esta extracción se realizó por triplicado y los tres sobrenadantes fueron mezclados. El volumen final fue completado a 10 mL con la mezcla solvente. Los extractos fueron conservados en refrigeración y protegidos de la luz.

3.6.7.1 Método del radical 2,2-difenil –1-picrylhydrazyl (DPPH)

Se empleó el método de Brand William et al, DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo). El DPPH es un radical libre estable, que inicialmente posee un color violeta, un agente antioxidante será capaz de reducir a este radical libre, que toma así un color amarillo pálido. Se midió la capacidad antioxidante de las muestras para atrapar el radical DPPH en el espectrofotómetro a longitud de 517 nm, luego de 30 minutos de reacción.

Se analizaron los extractos de los aceites obtenidos por diferentes métodos de extracción y se utilizó trolox como estándar. Los extractos fueron evaluados por triplicado a diferentes concentraciones de 4, 8, 16 y 32 mg/mL para los aceites obtenido por prensado en frío y extracción enzimática; y 0.4, 0.8, 1.6 y 3.2 mg/mL para el aceite extraído por solventes.

Posteriormente los valores de la absorbancia fueron utilizados para determinar el porcentaje de inhibición de radicales libres (DPPH) mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Inhibición de radicales libres} = \frac{[1 - (\text{Abs de muestra} - \text{Abs del blanco de muestra})] \times 100}{\text{ABS del patrón de referencia}}$$

Para cada extracto se calculó el porcentaje de inhibición del radical y se determinó la concentración inhibitoria del 50% (IC₅₀). A partir del gráfico de este porcentaje versus la concentración de la muestra se obtiene la ecuación $y = aX + b$, y con la respectiva regresión lineal de la curva R^2 , para obtener de ella el IC 50 se aplicó la fórmula: $0,5 \times (R^2/a)$. El IC 50 es definido como la cantidad de la muestra (g de muestra) necesarios para disminuir en un 50% la absorbancia.

3.6.7.2 Compuesto fenólicos totales- método de Folin-Ciocalteu

Para la determinación se realizó el método con el reactivo de Folin-Ciocalteu, modificado por Chaovanalikit y Wrolstad (2004). 0.1mL del extracto del aceite, fue mezclado con 0,5 mL de 2N Folin-Ciocalteu y 7,9 mL de agua desionizada. La mezcla se conservó a temperatura ambiente por 10 min. Luego se agregó 1,5 mL de una solución de carbonato de sodio al 20%. La mezcla fue llevada a reposo por 2 horas y finalmente la absorbancia fue leída a 765 nm. La cuantificación de fenólicos totales fue realizada usando una curva de calibración de ácido gálico (100-2000 ppm) y los resultados fueron expresados como Equivalentes de ácido gálico (EAG) mg/100g de aceite.

3.6.8 Evaluación de la estabilidad del aceite obtenido del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

Se evaluó el deterioro hidrolítico y oxidativo del aceite, el cual fue almacenado a la temperatura de 20°C, 30°C y 40°C, las mediciones se efectuaron a distintos tiempos dependiendo de la temperatura de almacenamiento, cada 6 semanas para la temperatura de 20°C, cada 4 semanas para los 30°C y cada 2 semanas para 40°C. El deterioro oxidativo del aceite se determinó mediante el índice de peróxidos de acuerdo al método oficial Método AOAC 965.33 y el deterioro hidrolítico mediante el análisis de ácidos grasos libres de acuerdo al método AOAC 940.28 ⁷⁶

Con los datos del contenido de acidez libre del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. obtenido a través de los métodos de extracción estudiados se trazó la cinética del deterioro térmico, para determinar si los cambios hidrolíticos de este aceite correspondían a orden 0, orden 1 u orden 2. Para determinar el orden de reacción de los datos se obtuvieron correlaciones lineales para todos los casos. Se graficaron los datos de acidez libre versus el tiempo de almacenamiento del

aceite, para determinar si la reacción corresponde a orden 0, se graficaron los datos del logaritmo natural de la acidez libre versus el tiempo de almacenamiento del aceite, para determinar el orden 1 y se graficaron los datos del inverso de la acidez libre versus el tiempo de almacenamiento del aceite, para determinar el orden 2. Una vez realizados los gráficos se observó la curva que presentó mejor correlación lineal. Para el cálculo de tiempo de vida útil se asumió como máximo índice de acidez 10 mgKOH/g, aceptable para aceites de uso cosmético.

Para la el deterioro oxidativo del aceite se procedió de la misma manera que para el análisis de deterioro hidrolítico, se asumió un índice de peróxido límite de 5 meqO₂/Kg

3.7 Análisis e interpretación de la información

3.7.1 Análisis de datos

Para el procesamiento de datos se desarrolló en base al programa estadístico IBM SPSS Statistics 22 y Excel 2010 para evaluar y validar los resultados obtenidos a nivel experimental y poder realizar el procesamiento estadístico descriptivo y el análisis estadístico ANOVA de un factor.

Para la comparación de la eficiencia de métodos de extracción se aplicaron la prueba de homogeneidad de varianzas mediante estadístico de Levene y comparaciones múltiples entre los métodos de extracción con las pruebas T3 de Dunnett, C de Dunnett, Scheffé y Games-Howell.

El análisis estadístico de los resultados de calidad de los aceites obtenidos se aplicó prueba de homogeneidad de varianzas mediante estadístico de Levene y comparaciones múltiples entre los aceites obtenidos por diferentes métodos de extracción con las pruebas HSD de Tukey y el test de Scheffé.

Prueba de hipótesis

$H_0 = H_P$ = La eficiencia de extracción, evaluación del rendimiento y calidad de todos los métodos de extracción no mostraron diferencia significativa

H_a = La eficiencia de extracción evaluación del rendimiento y calidad fue diferente entre los método de extracción utilizados.

α : Nivel de significancia = 5%

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Caracterización morfológica de los fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

En el cuadro 6 se muestran las características morfológicas del fruto de *Euterpe precatoria* Mart. Gran parte del peso del fruto es semilla, el tegumento que envuelve la semilla representa sólo el 23% de peso aproximadamente (cuadro 6). El color de la casaca del fruto fue purpura oscuro, interiormente la coloración varia de verde a naranja oscuro como parte de un tejido a manera de escamillas (figura 10).

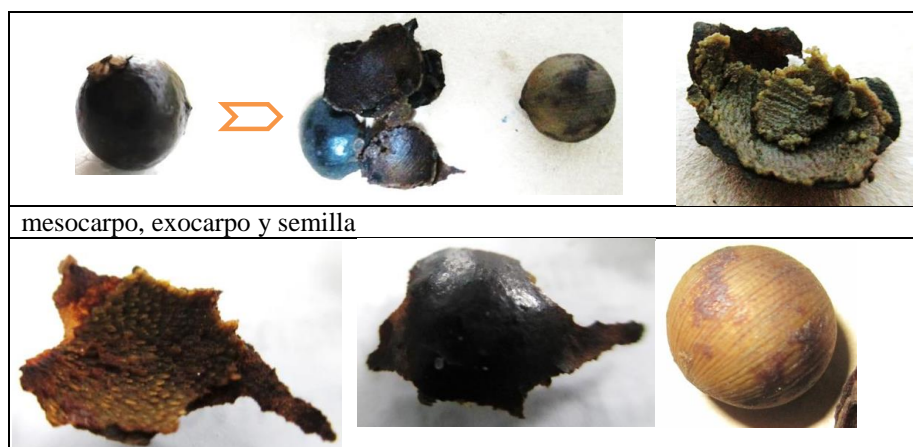


Figura 10 Característica física de la pulpa de *Euterpe precatoria* Mart.

Cuadro 6 Evaluación morfológica de los frutos de *Euterpe precatoria* Mart. *

Longitud (cm)	1,324± 0,103
Diámetro (cm)	1,425± 0,069
Fruto (g)	1,797± 0,266
Pulpa (exocarpo y mesocarpo) (g)	0,412± 0,081
Semilla (g)	1,385± 0,215
Pulpa (%)	22,966± 3,227

*30 evaluaciones realizadas en frutos de *Euterpe precatoria* Mart. ± desviación estándar.

El análisis estadístico de la frecuencia de los resultados se observan el anexo-cuadro 19-21 y figura 22.

4.2 Obtención de la pulpa de *Euterpe precatoria* Mart.

El despulpado de *Euterpe precatoria* Mart. presentó dificultades debido al bajo contenido de pulpa en la fruta (22,97%) y la poca hidratación que dificultó la separación del exocarpo y mesocarpo de las semillas. La pulpa obtenida se congeló a -10 °C y se almacenó para su uso. En el cuadro 7 se observa el rendimiento de despulpado.

Cuadro 7 Evaluación de rendimiento en la obtención de pulpa de *Euterpe precatoria* Mart.

Fruta fresca	100 Kg
Pulpa congelada (-10° C)	20 Kg
Pulpa seca (8 % humedad)	10,225 Kg
Rendimiento {Fruta fresca/Pulpa seca}	10,375%
Rendimiento {Pulpa teórico/Pulpa seca}	45,1%

Para la aplicación de los métodos de extracción, fue necesario descongelar y secar la muestra, esto se realizó en estufa de aire circulante a 45°C por 18 horas (anexo-figura 18).

4.3 Análisis químico proximal de la pulpa seca del fruto de *Euterpe precatoria* Mart

El análisis químico proximal se realizó a la pulpa seca, la cual fue utilizada directamente para la extracción de aceite. Los resultados son promedio de los ensayos realizados por triplicado \pm desviación estándar ($\bar{x} \pm S$) (cuadro 8) (anexo-cuadro 22). El análisis se efectuó en base seca (BS), por ello se corrigió el resultado para expresarlo en base húmeda (BH), mediante la siguiente expresión:

A=Contenido de nutriente (%BS)

B = Contenido de humedad de pulpa (%)

Contenido de nutriente (%BH) = $(A \times ((100 - B)/100))$

Cuadro 8 Resultados de análisis proximal de pulpa seca de *Euterpe precatoria* Mart. en base seca y base húmeda

Componentes	M1	M2	M3	Base seca (BS)*	Base húmeda(BH)**
Humedad	8,5321	8,5291	8,5389	8,5334 \pm 0,005	7,805
Lípidos totales	27,2701	27,2891	27,2834	27,2809 \pm 0,01	24,952
Proteínas	2,4150	2,2400	2,4150	2,3567 \pm 0,1010	2,155
Fibras	0,3215	0,3226	0,3218	0,3220 \pm 0,0006	0,295
Carbohidratos	56,6526	56,8127	56,6317	56,6990 \pm 0,099	51,863
Cenizas	5,1302	5,1291	5,131	5,1301 \pm 0,00095	4,692

4.4 Obtención de aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

4.4.1 Extracción por prensado en frío

La extracción por prensado en frío se realizó por quintuplicado, con una muestra de 615,65 g en promedio, obteniéndose un rendimiento de 6% y de 31%, respecto al peso de la muestra y al contenido de aceite teórico en la muestra respectivamente. (Cuadro 9)

Cuadro 9 Resultados del rendimiento de extracción los aceites obtenidos por prensado en frío

Ensayos	Peso de muestra (g) (12% humedad)	Peso de aceite en la muestra (g) MPx27,28%	Peso de aceite extraído (g)	Rendimiento (%) por peso de muestra	Rendimiento (%) por peso de aceite en muestra
1	577,4	103,9320	37,30	6,4600	35,8889
2	620,95	111,7710	33,25	5,3547	29,7483
3	652,15	117,3870	35,45	5,4359	30,1993
4	612,4	110,2320	38,95	6,3602	35,3346
5	615,35	110,7630	31,45	5,1109	28,3940
Rendimiento *				5,7502 ± 0,6204	31,9455 ± 1,4468

4.4.2 Extracción con pre tratamiento enzimático y prensado en frío

La extracción de la muestra sometida a pre tratamiento enzimática y prensado en frío se realizó por septuplicado, con una muestra de 661,88 g en promedio, obteniéndose un rendimiento de 6% y de 35%, respecto al peso de la muestra y al contenido de aceite teórico en la muestra respectivamente, cuadro 10.

Cuadro 10 Resultados del rendimiento de extracción los aceites obtenidos por pre tratamiento enzimático-prensado en frío

Ensayos	Peso de muestra (g) (12% humedad)	Peso de aceite en la muestra (g) MPx27,28%	Peso de aceite extraído (g)	Rendimiento (%) por peso de muestra	Rendimiento (%) por peso de aceite en muestra
1	589,15	100,1555	35,80	6,0766	35,7444
2	619,75	105,3575	33,25	5,3651	31,5592
3	641,70	109,0890	42,05	6,5529	38,5465
4	694,10	117,9970	41,45	5,9718	35,1280
5	688,45	117,0365	34,10	4,9532	29,1362
6	666,20	113,2540	36,50	5,4788	32,2284
7	733,80	124,7460	33,25	4,5312	26,6542
Rendimiento *				5,9982± 0,6944	35,2834 ± 4,0849

4.4.3 Extracción por solventes orgánicos

La extracción se realizó con 1 Kg de pulpa y 3 litros de mezcla de 2-propanol: alcohol: hexano (1:2,45:1) por 8 horas la, concentración del extracto se realizó en rota vapor a -1 bar de presión a 50° C, el aceite extraído por este método y con el equipo descrito anteriormente fue de consistencia siruposa de color verde oscuro intenso (cuadro 11).

Cuadro 11 Resultados del rendimiento de extracción con solventes.

	Peso de muestra (g)	Peso de aceite en la muestra (g) MPx27,28%	Extracto (mL)	Peso de aceite (g)	Rendimiento (%) por peso de muestra	Rendimiento (%) por peso de aceite en muestra
1	1010	275,528	2 560	120	11,8811881	43,5527424
2	1130	308,264	2 600	125	11,0619469	40,5496587
3	1025	279,62	2 550	122	11,902439	43,6306416
Rendimiento					11,61519135 ±0,479	42,5776809 ±1,757

4.5 Evaluación de la eficiencia de extracción

El análisis estadístico descriptivo de los resultados se observan el anexo-cuadro 26 y figura 23. Los rendimientos de extracción fueron comparados en función al rendimiento por peso de aceite en muestra, considerando grupos desequilibrados a los que no realizaron el mismo número de pruebas por cada método evaluado. El análisis de varianza, estadístico de Levene tomó un valor lo suficientemente pequeño para no rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas al nivel de significación 0,05 (cuadro 12), por lo tanto se asume que entre los grupos de datos no existe diferencia estadísticamente significativa ($p=0,276$) entre las varianzas de los diferentes métodos de extracción, lo que permitió aplicar el análisis ANOVA de una factor.

En el cuadro 12 de resultados del ANOVA, el valor del estadístico de prueba, $F=9,808$, es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación ($p=0,003$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se confirma la hipótesis alternativa.

Cuadro 12 Análisis ANOVA y test de Levene

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	251,445	2	125,722	9,808	,003
Dentro de grupos	153,814	12	12,818		
Total	405,258	14			

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1,438	2	12	,276

Se acepta que hay diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de los métodos de extracción evaluados. Por lo tanto para evaluar entre que grupos se ha producido la diferencia se aplicó las siguientes pruebas estadísticas debido al desequilibrio del número de datos en cada grupo; se obtuvo como resultado que la diferencias estadísticamente significativas se producían entre el método de extracción por solventes (anexo-cuadro 25) en comparación el método de extracción con pre tratamiento enzimático (anexo-cuadro 24) y prensado en frío respectivamente (anexo-cuadro 23) (cuadro 13). Sin embargo al realizar el análisis entre subconjuntos homogéneos se observa que no hay diferencia estadísticamente significativa entre la extracción por prensado y la extracción con pre tratamiento enzimático (cuadro 14).

Cuadro 13 Comparaciones múltiples con las pruebas T3 de Dunnett, Scheffé y Games-Howell.

						95% de intervalo de confianza	
	(I) Extracción	(J) Extracción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Scheffé	Prensado	Enzimático	-,80082	2,09635	,930	-6,6446	5,0429
		Solvente	-10,66466 ⁺	2,61460	,005	-17,9531	-3,3762
	Enzimático	Prensado	,80082	2,09635	,930	-5,0429	6,6446
		Solvente	-9,86384 ⁺	2,47057	,006	-16,7507	-2,9769
	Solvente	Prensado	10,66466 ⁺	2,61460	,005	3,3762	17,9531
		Enzimático	9,86384 ⁺	2,47057	,006	2,9769	16,7507
T3 Dunnett	Prensado	Enzimático	-,80082	2,18171	,975	-7,0175	5,4159
		Solvente	-10,66466 ⁺	1,84521	,003	-16,5636	-4,7657
	Enzimático	Prensado	,80082	2,18171	,975	-5,4159	7,0175
		Solvente	-9,86384 ⁺	1,84730	,002	-15,3456	-4,3821
	Solvente	Prensado	10,66466 ⁺	1,84521	,003	4,7657	16,5636
		Enzimático	9,86384 ⁺	1,84730	,002	4,3821	15,3456
Games-Howell	Prensado	Enzimático	-,80082	2,18171	,929	-6,8220	5,2203
		Solvente	-10,66466 ⁺	1,84521	,003	-16,3334	-4,9959
	Enzimático	Prensado	,80082	2,18171	,929	-5,2203	6,8220
		Solvente	-9,86384 ⁺	1,84730	,002	-15,1581	-4,5696
	Solvente	Prensado	10,66466 ⁺	1,84521	,003	4,9959	16,3334
		Enzimático	9,86384 ⁺	1,84730	,002	4,5696	15,1581

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Cuadro 14 Análisis estadístico de los subconjuntos homogéneos

	Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
Scheffe ^{a,b}	Prensado	5	31,9130	
	Enzimático	7	32,7138	
	Solvente	3		42,5777
	Sig.		,946	1,000
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos -Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,437 -Tamaños de grupo diferentes. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.				

4.6 Análisis físico químico del aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

El análisis fisicoquímico proximal a los aceites obtenidos por diferentes métodos de extracción se reportó como resultados promedio de los ensayos realizados por triplicado \pm desviación estándar ($\bar{x} \pm S$) (cuadro 15).

Cuadro 15 Resultados del análisis fisicoquímico del aceite extraído por los diferentes métodos de extracción

	Parámetros	M1	M2	M3	Promedio
PRENSADO	Índice de refracción a 20°C	1,4691	1,4687	1,4689	1,4689 \pm 0,00020
	Densidad relativa a 22°C	0,9153	0,9154	0,9152	0,9153 \pm 0,00010
	Índice de acidez (mg de KOH / g)	0,9159	0,9155	0,9157	5,1449 \pm 0,29150
	Índice de peróxidos (meq oxígeno activo/1000 g de aceite)	2,0946	1,9790	2,1589	2,0775 \pm 0,09116
	Índice de saponificación (mg de KOH / g)	265,3652	265,4044	265,3899	265,3865 \pm 0,01982
	Índice de yodo (g yodo /100 g aceite)	23,5634	23,5614	23,5646	133,5631 \pm 0,00162

	Parámetros	M1	M2	M3	Promedio
ENZIMÁTICO	Índice de refracción a 20°C	1,4690	1,4680	1,4690	1,4687± 0,00058
	Densidad relativa a 22°C	0,9159	0,9155	0,9157	0,9157± 0,00020
	Índice de acidez (mg de KOH / g)	5,0400	4,5280	5,1700	4,9127±0,33941
	Índice de peróxidos (meq oxígeno activo/1000 g de aceite)	3,1800	3,1500	3,1500	3,1600±0,01732
	Índice de saponificación (mg de KOH / g)	285,5610	285,4044	285,3899	285,4518±0,09488
	Índice de yodo	18,5400	18,5000	18,5300	138,5233±0,02082
SOLVENTE	Índice de refracción a 20°C	1,4670	1,4660	1,4650	1,4660±0,00100
	Densidad relativa a 22°C	0,9056	0,9063	0,9065	0,9061±0,00047
	Índice de acidez (mg de KOH / g)	9,1540	9,6660	8,4320	9,0840±0,61997
	Índice de peróxidos (meq oxígeno activo/1000 g de aceite)	4,2400	4,2400	4,2600	4,2467±0,01155
	Índice de saponificación (mg de KOH / g)	250,6780	250,3899	250,4044	250,4908±0,16231
	Índice de yodo (g yodo /100 g aceite método de Wijs)	16,5800	16,5614	16,5460	136,5625±0,01703

Al aplicar el análisis estadístico ANOVA de un factor se observa (cuadro 16), que los valores del estadístico de prueba F, es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y queda confirmada la hipótesis alternativa, es decir que hay diferencias entre los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados.

Cuadro 16 Análisis ANOVA de un factor para los resultados de los parámetros fisicoquímicos

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Refracción	Entre grupos	,000	2	,000	17,012	,003
	Dentro de grupos	,000	6	,000		
	Total	,000	8			
Densidad	Entre grupos	,000	2	,000	964,256	,000
	Dentro de grupos	,000	6	,000		
	Total	,000	8			
Acidez	Entre grupos	32,970	2	16,485	84,606	,000
	Dentro de grupos	1,169	6	,195		
	Total	34,140	8			
Peróxido	Entre grupos	7,058	2	3,529	1210,811	,000
	Dentro de grupos	,017	6	,003		
	Total	7,075	8			
Saponificación	Entre grupos	1846,769	2	923,385	77510,378	,000
	Dentro de grupos	,071	6	,012		
	Total	1846,841	8			
Yodo	Entre grupos	37,445	2	18,722	77386,159	,000
	Dentro de grupos	,001	6	,000		
	Total	37,446	8			

Dado que el número de ensayos es el mismo para cada parámetro analizado se utilizó la prueba HSD Tukey, donde existe diferencias estadísticamente significativas entre el aceite obtenido por extracción por solvente y los obtenidos por extracción por prensado en frío y pre tratamiento enzimático específicamente en los parámetros: densidad, refracción, acidez y peróxido. Los parámetros de saponificación y yodo mostraron diferencias estadísticamente significativas por los diferentes métodos de extracción. La evaluación de subconjuntos homogéneos HSD Tukey fue en base a parámetros de densidad, refracción, acidez, donde no se observó diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos a través de los métodos de extracción por prensado en frío y el pre tratamiento enzimático (anexo-cuadro 27-30)

4.7 Evaluación de la actividad antioxidante del aceite del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

4.7.1 Método del radical 2,2-difenil –1-picrylhydrazyl (DPPH)

El IC 50 de los aceites extraídos por prensado en frío y extracción con pretratamiento enzimático se realizó en un rango de concentración de extracto de 4, 8, 16 y 32 mg/mL, mientras que el aceite obtenido por extracción por solventes presentó resultados similares a una concentración 10 veces menor (cuadro 17), los valores de IC 50 muestran que la muestra con mayor capacidad de inhibición de radicales libres es la del aceite obtenido por extracción por solventes, seguido por el obtenido por extracción enzimática y por último el aceite obtenido por prensado en frío. Las curvas para el IC50 y trolox se realizaron en base a los valores de absorbancia (anexo-figura 24-30 y cuadro 31)

Cuadro 17 Resultados de la capacidad de inhibición de radicales libres en los aceites obtenidos por los diferentes métodos de extracción

	CONC (mg/mL)	BL	M1	M2	M3	PROMEDIO	Desviación estándar	% Inhibición de radicales libres	IC 50 mg/mL
PRENSADO	4	0,009	0,404	0,403	0,404	0,404	0,001	45,61	6,97
	8	0,039	0,372	0,373	0,374	0,373	0,001	52,85	
	16	0,077	0,286	0,362	0,372	0,340	0,047	61,57	
	32	0,092	0,306	0,311	0,315	0,311	0,005	66,30	
ENZIMÁTICO	4	0,019	0,323	0,322	0,322	0,322	0,001	53,29	3,61
	8	0,039	0,287	0,287	0,286	0,287	0,001	59,29	
	16	0,079	0,240	0,247	0,244	0,244	0,004	69,21	
	32	0,090	0,161	0,156	0,157	0,158	0,003	77,39	
SOLVENTE	0,4	0,023	0,331	0,332	0,332	0,332	0,001	53,76	1,82
	0,8	0,046	0,250	0,251	0,250	0,250	0,001	64,13	
	1,6	0,092	0,200	0,199	0,200	0,200	0,001	76,59	
	3,2	0,183	0,117	0,116	0,116	0,116	0,001	100,00	
Estándar (trolox)									0,001

4.7.2 Compuesto fenólicos totales- método de Folin-Ciocalteu

Para evaluar los compuestos fenólicos totales se realizaron los ensayos con las concentraciones de 32 mg/mL para el aceite obtenido por prensado y con pretratamiento enzimático y 3,2 mg/mL para el aceite obtenido por extracción por

solvente (cuadro 17). Se realizó la curva de ácido gálico con concentraciones de 100ppm a 2000 ppm, para el cálculo los compuestos fenólicos equivalente en ppm del ácido gálico (anexo-figura 32).

Cuadro 18 Compuestos fenólicos en aceite expresados en equivalencia de ppm de ácido gálico (AG)

	CONC mg/mL	A1	A2	A3	PROMEDIO	Desviación estándar	ppm AG	mg AG/100g de aceite
PRENSADO	32	0,347	0,349	0,349	0,348	0,001	336,554	1 050
ENZIMA	32	0,125	0,127	0,128	0,127	0,002	122,383	381,25
SOLVENTE	3,2	0,364	0,365	0,365	0,365	0,001	352,335	11010,5

4.8 Evaluación de la estabilidad del aceite obtenido del fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

Se realizó al estudio de los deterioros hidrolítico y oxidativo del aceite, que fue almacenado a tres temperaturas distintas 20°C, 30°C y 40°C. Las mediciones se efectuaron a distintos tiempos dependiendo de la temperatura de almacenamiento, cada 6 semanas para la temperatura de 20°C, cada 4 semanas para 30°C y cada 2 semanas para 40°C.

Las figuras 11, 12 y 13 muestra la evolución de la acidez libre del aceite obtenido por prensado a través del tiempo para las tres temperaturas de almacenamiento de los aceites obtenidos por extracción por prensado, extracción con pre tratamiento enzimático-prensado y extracción con solventes, respectivamente. Se puede observar el aumento de la acidez libre en todas las temperaturas de almacenamiento, siendo este aumento mayor para 40°C y menor para 20°C (anexo-cuadro 32-42).

Para el comportamiento de aceite obtenido por prensado a la temperatura de almacenamiento de 20°C, 30° y 40°C se determinó el orden 2 para los cambios

hidrolíticos del aceite y, se calculó el tiempo de vida útil de 6.5, 3.6 y 2.3 meses, respectivamente (anexo-cuadro 43-44 y figura 33-34). El aceite de extracción con pre tratamiento enzimático presentó comportamiento para temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, orden de reacción 1, 0 y 0, que estima un tiempo de vida útil de 0.3, 0.2 y 0.169 meses, respectivamente (anexo-cuadro 45-46 y figura 35-36). Para la extracción por solventes a las temperaturas de almacenamiento de 20°C, 30° y 40°C se determinó el orden 1 para los cambios hidrolíticos del aceite estimando un tiempo de vida útil de 1.23, 0.82 y 0.68 semanas, respectivamente (anexo-cuadro 47-48 y figura 37-38).

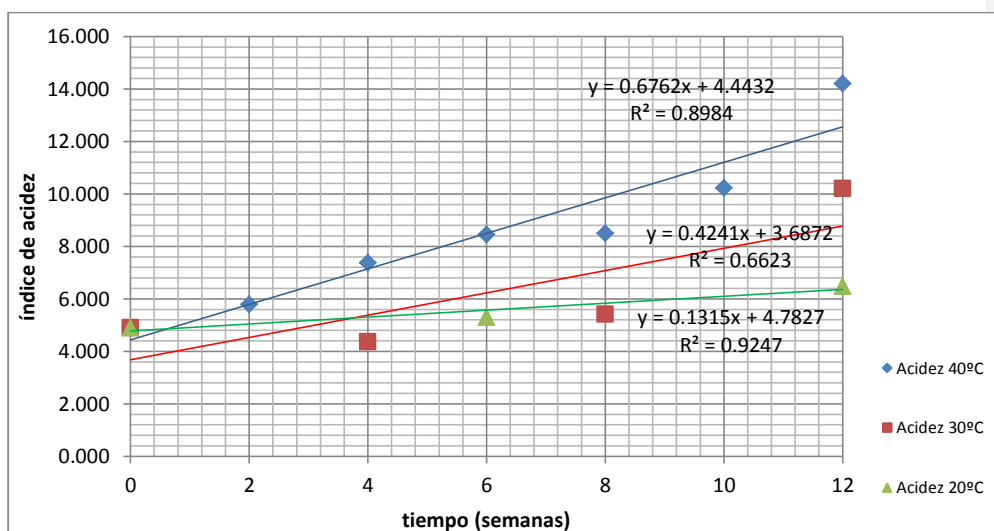


Figura 11 Cambio hidrolítico del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. extraídos por prensado en frío a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

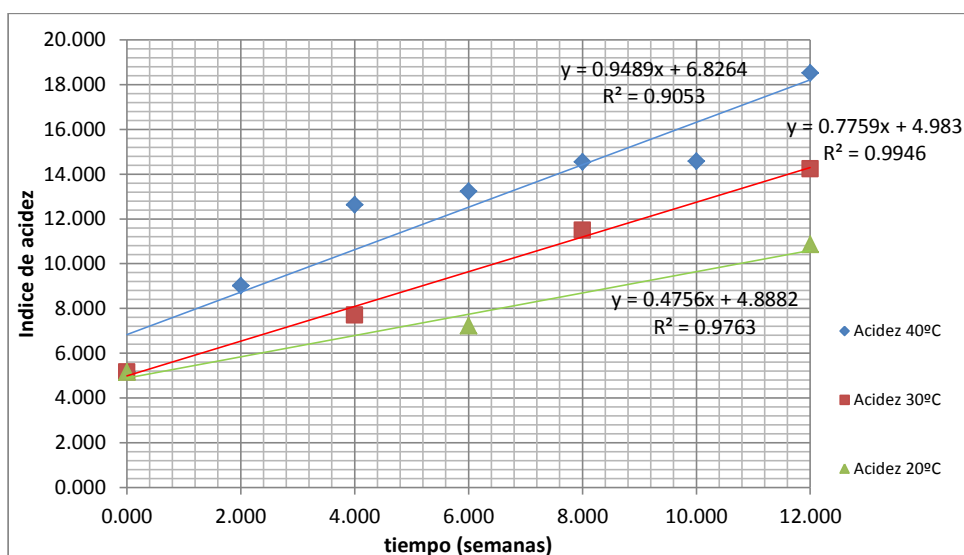


Figura 12 Cambio hidrolítico del aceite de *Euterpe precatoria* extraídos con pretratamiento enzimático a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

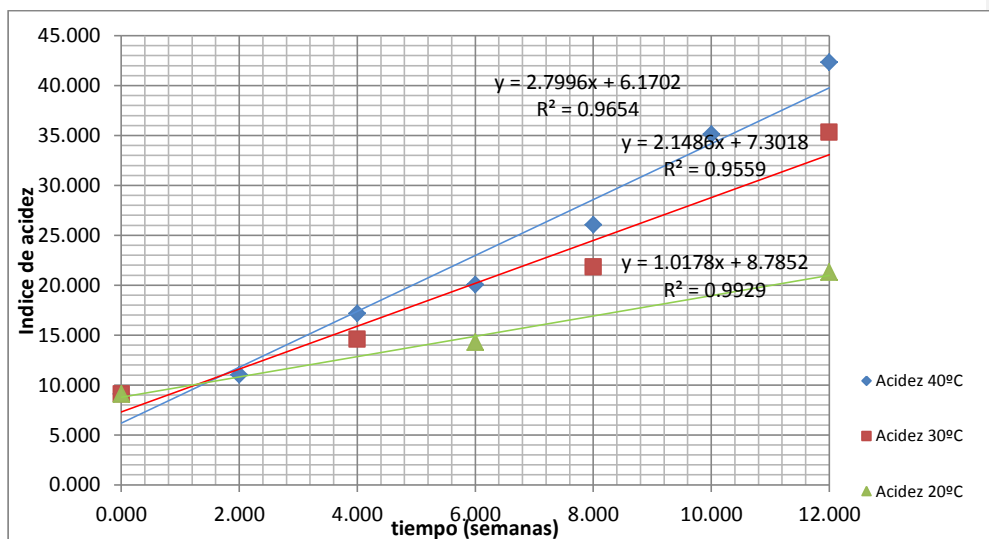


Figura 13 Cambio hidrolítico del aceite de *Euterpe precatoria* extraídos con solvente a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

Las figuras 14, 15 y 16 muestran la evolución del índice de peróxidos a través del tiempo en temperatura de almacenamiento de 20°C, 30°C y 40°C, del aceite obtenido por los métodos de extracción en estudio. Se debe señalar que el contenido inicial de peróxido es alto, debido a que durante el proceso de extracción se inicia el deterioro oxidativo del aceite. Se puede observar un incremento del índice de peróxido en todas las temperaturas de almacenamiento, siendo este aumento mayor para 40°C y menor para 20°C (anexo). Para determinar el orden de la reacción se procedió de la misma manera que en el caso anterior para cambios hidrolíticos del aceite, asumiendo como valor máximo de 5 mEq O₂/Kg para el cálculo de tiempo de vida útil del aceite

Para el comportamiento del aceite obtenido por prensado a las temperaturas de almacenamiento de 20°C, 30° y 40°C se determinó un orden 0 para los cambios oxidativos del aceite de lo que se deduce que el tiempo de vida útil es de 2.3, 0.8 y 0.7 semanas, respectivamente (anexo-cuadro 49-50 y figura 39-40). El aceite de extracción con pre tratamiento enzimático presento un comportamiento para las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, orden de reacción 0, 1 y 0; el tiempo de vida útil calculado fue de 4.2, 3.8 y 1,7 semanas respectivamente (anexo-cuadro 51-52 y figura 41-42). Para la extracción por solventes a las temperaturas de almacenamiento de 20°C, 30° y 40°C se determinó orden de reacción 2, 0 y 0; el tiempo de vida útil calculado fue de 9.02, 0.84 y 0.73 semanas, respectivamente (anexo-cuadro 53-54 y figura 43-44).

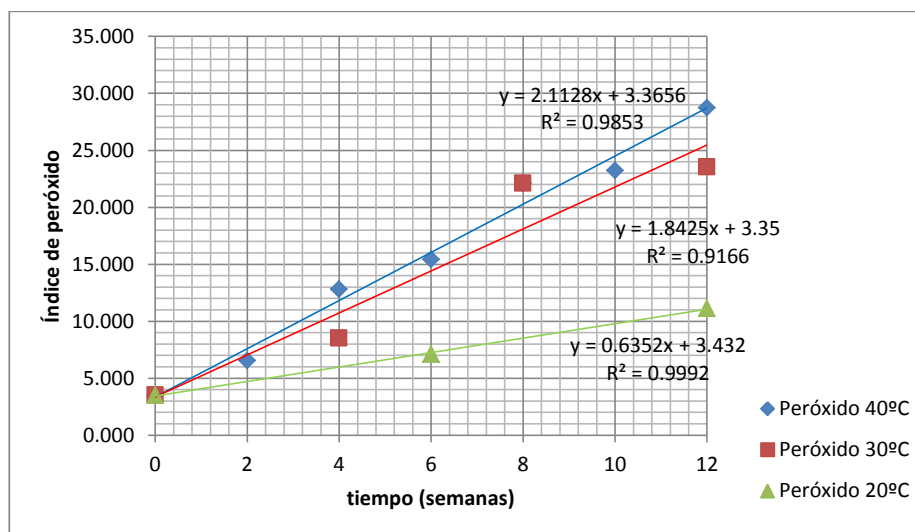


Figura 14 Cambios oxidativos en el aceite de *Euterpe precatoria* extraídos por prensado en frío a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

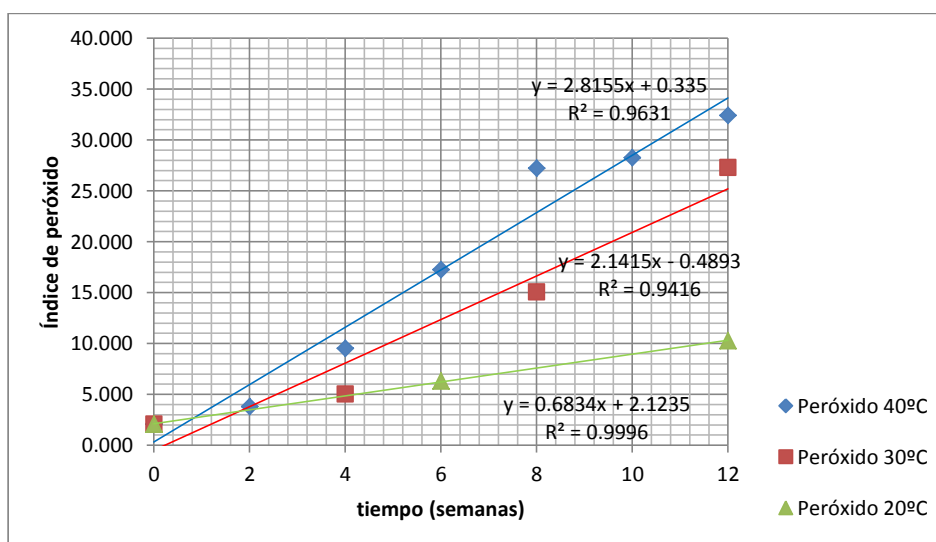


Figura 15 Cambios oxidativos en el aceite de *Euterpe precatoria* Mart. extraído con pre tratamiento enzimático a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

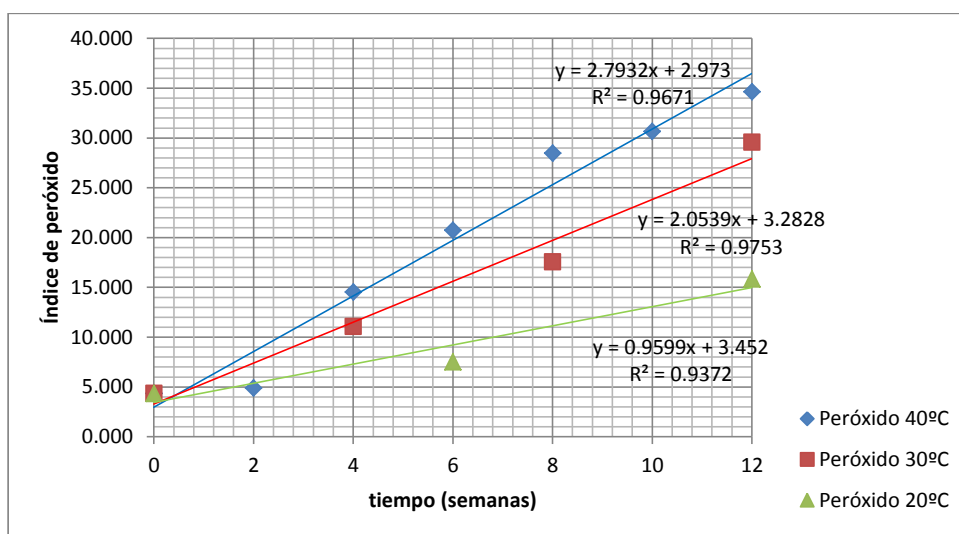


Figura 16 Cambios oxidativos en el aceite de *Euterpe precatoria* Mart. extraídos con solventes a las temperaturas de almacenamiento 20°C, 30°C y 40°C.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados del estudio morfológico de los frutos de *Euterpe precatoria* Mart. respecto al peso del fruto (1,8 %), y al porcentaje de la parte aprovechable en el fruto (exocarpo y mesocarpo) (22,96%), diámetro (1,4 cm) fue similar al descrito por Barrera (2009), Rogez (2002)⁷⁷, y el *Serviço Florestal Brasileiro*¹⁶ que señalan un peso de un 1 g aprox, 17% de pulpa, diámetro 1-2 cm y peso promedio del fruto 0,8 a 2,3 g, el color del exocarpo es de color púrpura violeta. El mesocarpo posee sólo 1 a 2 mm de espesor, el exocarpo y mesocarpo constituyen la parte comestible de la fruta, denominada “pulpa”. La semilla de *Euterpe precatoria* Mart. constituye 83 % de la fruta y está formado por un pequeño endospermo sólido unido a la cubierta de la semilla en la madurez, es rica en celulosa, inulina y hemicelulosa.⁷⁸

En el análisis químico proximal, el contenido de cenizas ($5,1301 \pm 0,00095$) referido a la presencia de sales minerales, fue similar a lo reportado para *Euterpe oleraceae* por Rojano et al.⁷⁹ y Rufino⁸⁰ (2-7%). Además coincide con lo reportado por Castillo³³ quien señala valores de porcentaje de ceniza de 1.5 a 4% para *E. precatoria* sp. El contenido de lípidos totales fue superior a lo descrito por Castillo³³ que reportó un contenido de lípidos de 11,5% en pulpa sin refinar, y menor a lo reportado (37%) por Sinchi et al. y el 49.4% obtenido para *Euterpe oleraceae* Mart., por Sanabria et al.⁸¹. Es importante tener en cuenta que los lípidos del fruto se pierden en el proceso acondicionamiento

(selección y lavado) del fruto por lo que es importante tomar en cuenta el proceso de obtención de la pulpa en la interpretación de los resultados, los reportes antes mencionados aplican procesos de acondicionamiento de la muestra diferentes lo que puede influir en la pérdida de componentes como los lípidos, en esta investigación se analizó la pulpa acondicionada para la extracción de aceite, la cual pasó por un riguroso proceso de selección lavado y desinfección. El contenido de proteínas hallado sobrepasa lo mencionado por Castillo ⁷⁹ y a la literatura científica para la especie *E. oleraceae* 15.9% en el estudio realizado por Sanabria ⁸¹, sin embargo la pulpa de esta especie no puede considerarse como fuente de proteínas. El contenido de carbohidratos fue similar a lo reportado por Sanabria *et al* ⁸¹.

El rendimiento de los métodos de extracción aplicados para obtener el aceite de frutos de *Euterpe precatoria* Mart. , fue calculado en función al peso de aceite obtenido y al contenido en la muestra se dedujo en base al porcentaje de lípidos hallado en el análisis químico proximal ⁸².

La extracción por prensado se realizó a temperatura ambiente aplicando presión a la pulpa tal como lo describe la norma del Codex Alimentario ⁷⁰ , el rendimiento de extracción fue de 31,9%, con la ventaja de obtener el aceite, sin la necesidad de un tratamiento posterior para su separación. Con el prensado en frío se buscó preservar los compuestos antioxidantes del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. y minimizar el impacto medioambiental al compararlo con los métodos convencionales de extracción de aceite que utilizan altas temperaturas y/o solventes orgánicos.

Respecto a la extracción con pre tratamiento enzimático-prensado en frío, el rendimiento fue 35,3%, este proceso permitió evaluar el efecto de la incorporación de enzimas sobre el rendimiento de extracción de aceite por prensado en frío. La extracción por prensado con el uso de enzimas es la operación extractiva menos estudiada, a pesar de que presenta ventajas medioambientales frente al uso de hexano y de productividad frente a la

extracción acuosa; con esta técnica, se ha obtenido incremento en el rendimiento de extracción de diversas semillas oleaginosas: colza, girasol etc.⁶³⁸³⁸⁴.

El tratamiento enzimático se efectuó previo al prensado con la enzima comercial *Pectinex® Ultra SPL - Sigma Aldrich (Pectinase from Aspergillus aculeatus aqueous solution, $\geq 3,800$ units/mL)*. El rendimiento de extracción del aceite fue 35,28 % bajo un pre tratamiento enzimático durante 3 horas a 40°C. Sin embargo, no se observó diferencia de rendimiento estadísticamente significativa al comparar ambos métodos.

El método con mayor rendimiento fue el de extracción con solventes, debido a la afinidad de los lípidos por los solventes utilizados 2-propanol: alcohol: hexano (1:2,45:1) y el tiempo de contacto (8 horas); sin embargo, la capacidad de la muestra de absorber solvente al inicio del proceso es un punto crítico que significa la inversión de mayor cantidad de solventes constituyendo un proceso costoso, necesitando incluir en el proceso eliminar solventes residuales en el aceite.

Los resultados del rendimiento de la extracción por solventes (42,6%) se próxima a lo reportado por Ligia et al⁴⁰, que menciona valores de porcentaje de recuperación del aceite de 30-48%, este método, presentó una diferencia de rendimiento estadísticamente significativa al compararlo con los métodos de prensado y pre tratamiento-prensado.

La apariencia y el color de los aceites fue de color verde oscuro en los obtenidos por extracción por prensado y con pre tratamiento enzimático-prensado; y color verde-vino para el aceite extraído por solventes. En todos los casos el aceite presenta apariencia líquida viscosa. El color de los aceites se debe a la presencia de pigmentos como clorofila y carotenoides, que son usualmente separados por procesos de refinamiento, sin embargo en esta investigación se mantuvieron como parte de aceite en todo el proceso de

análisis. La presencia de clorofila no sólo brindó el color característico al aceite también actuó como promotor de reacciones de oxidación, sin embargo, en aceites no refinados la presencia de estos pigmentos como en el aceite de oliva, pueden considerarse características de la calidad extra virgen del aceite. Los carotenoides presentes en la pulpa del fruto son poderosos antioxidantes que protegen de la auto oxidación y foto oxidación ⁶⁸. En el análisis de la pulpa de *Euterpe precatoria*, Kang *et al* (2012) ⁸⁵ reportaron la presencia de β -caroteno, licopeno, astaxantina, luteína y zeaxantina. Los rangos varían de 18.7 ug/g de astaxantina a 483.0 ug/g de luteína, los carotenoides totales en esta especie fueron calculados en 963.7 ug/g ⁸⁶.

La refracción y densidad relativa de los aceites obtenidos por los métodos de prensado, pre tratamiento enzimático y solventes no presentaron diferencia significativas entre los valores reportados, estos estuvieron dentro de rango de los valores indicados para aceites cosméticos de asái 0.800-0.950 e índice de refracción 1.35-1.47 ^{87,88}

El índice de acidez de los aceites obtenidos fue para el prensado, pre tratamiento enzimático y solvente de 5.15 ± 0.23 , 4.91 ± 0.34 y 9.08 ± 0.62 , respectivamente. Estos valores fueron calculados como ácido oleico libre, el índice de acidez indica que en el proceso de obtención de pulpa y extracción del aceite se inició el proceso hidrolítico por acción de las lipasas, que liberaron ácidos grasos. El índice de acidez puede incrementarse en el caso de aceites extraídos por prensado en frío o vírgenes, debido a la presencia de pigmentos y compuestos antioxidantes como clorofila y carotenoides. En el caso de aceite extraído por solventes, el índice es mucho mayor, presentan diferencia estadísticamente significativa a los valores reportados para aceites por prensado y pre tratamiento enzimático-prensado, debido al mayor tiempo de extracción y a los procesos de separación del solvente y el aceite posterior a la obtención del extracto, por el contacto prolongado y la aplicación de temperatura (40°C) en el proceso de extracción. Los valores de acidez ya

descritos son aceptables para los aceites de uso cosmético, tomándose como referencia la ficha técnica de aceite de *Euterpe oleraceae* Mart., que mundialmente comercializada, con un índice de acidez máximo de 10 mg KOH/g.⁸⁷

El índice de peróxido para los aceites obtenidos por los métodos en estudio fueron menores a 3.1 mEq O₂/Kg de aceite, aunque para aceites con fines alimenticios el valor es alto, en el caso de aceites de uso cosmético el valor máximo aceptado es de 5 mEq O₂/Kg de aceite^{87,88}, por lo que los aceites obtenidos son potencialmente para uso cosmético. Sin embargo, más allá de los atributos de calidad de los aceites obtenidos a través del prensado y el método de pre tratamiento enzimático, el contenido de ácidos grasos libres y color fueron menores que los del aceite extraído por solventes. Se observó niveles ligeramente más altos de ácidos grasos libres e incremento de color en los aceites obtenidos por prensado, si se comparan con los aceites obtenidos con pre tratamiento enzimático-prensado.

Los valores de yodo y saponificación se encontraron dentro del rango del aceite cosmético de *Euterpe oleraceae* Mart.⁸⁷ con valores índice de yodo de 118-145g I₂/100g y valores máximos para el índice de saponificación de 200 mg de KOH / g.

En estudios realizados a los perfiles de ácidos grasos de los aceites obtenidos por extracción con solventes y métodos de extracción aplicando pre tratamiento enzimático, no se observó variación significativa en los perfiles de ácidos grasos de los aceites extraídos por cualquiera de los métodos mencionados.^{22, 83} por lo que se puede deducir que los resultados similares entre los aceites obtenidos por los métodos para yodo y saponificación, se debería a la similitud en la composición de ácidos grasos extraídos, que forman parte del aceite; Odendaal et al.⁸⁶ menciona que el ácido oleico (56,2%) posee mayor proporción en la pulpa de los ácidos palmítico (24,1%) y linolénico (12,5%). Obteniéndose

resultados similares a lo reportado por Rufino (2011) ⁸⁰ que indica un promedio de 70% de ácido oleico superior a otras fuentes de aceite como soya, maíz y girasol. Esta proporción se mantiene en el aceite del fruto producto del método de extracción aplicado.

El DPPH es un radical libre orgánico muy estable con el color violeta profundo que da máximos de absorción a 515-528 nm, sobre la recepción de protones principalmente de cualquier especie donante de hidrógeno, los compuestos fenólicos son moléculas con capacidad antioxidante lo que resulta en el cambio de color visualmente perceptible de color violeta oscuro a amarillo. La concentración de compuestos fenólicos o grado de hidroxilación de los compuestos fenólicos aumenta la capacidad de inhibir radicales DPPH, por lo tanto incrementa la actividad antioxidante. Dado que este radical es muy sensible a los ingredientes activos a bajas concentraciones y puede ensayarse un gran número de muestras en tiempo muy corto, por lo tanto, se ha utilizado ampliamente para medir la actividad de eliminación de radicales de diferentes extractos de plantas.⁸³ En el ensayo de DPPH, se investigó la capacidad de los extractos examinados para donar átomos de hidrógeno o electrones para la transformación de DPPH en su forma reducida (DPPH - H). Los extractos de los aceites tienen la capacidad de reducir el DPPH radical estable, de color púrpura en color amarillo DPPH. Entre los ácidos fenólicos reportados para *Euterpe precatoria* Mart. se tienen el ácido vanilínico (1616694 mg/L), ácido siríngico (1073662 mg/L), ácido p-hidroxibenzoico (892652 mg/L), ácido protocatéquico (630636 mg/L) and ácido ferúlico (10165.9 mg/L), dímeros procianidínicos (2016653 mg (1)-catequina equivalente/L) and trímeros (10866121 mg (1)-catequina equivalente/L) fueron identificados como (1)-catequina (66.764.8 mg/L)

La capacidad de eliminación de radicales libres de los extractos examinados, se incrementó de manera dependiente a la concentración. Es importante señalar que las concentraciones utilizadas para los ensayos de DPPH y fenoles del

extracto del aceite obtenido por prensado y pre tratamiento-enzimático fueron 10 veces mayores al utilizado para elaborar el extracto del aceite obtenido por solventes; aunque los extractos en todos los casos fueron obtenidos por mezcla metanol: agua (8:2), se observó diferencias en la intensidad de color de los mismos y a nivel de IC 50 se reportan diferencias entre los resultados de los aceites obtenidos por cada método de extracción, el mayor valor (6.97 mg/mL) fue del aceite obtenido por prensado, probablemente debido a la extracción en su mayoría de compuestos fenólicos polares, respecto al aceite obtenido con pre tratamiento enzimático (3,6 mg/mL), aplicando el pre tratamiento se observó el ligero incremento de compuestos antioxidantes que se evidenció en la reducción de IC 50 a la mitad del valor mostrado para el aceite obtenido por prensado.

La muestra con mayor capacidad antioxidante fue la del aceite obtenido por extracción por solventes que reportó IC 50 1,82 mg/mL, sin embargo, ninguno de los extractos mostró mayor actividad que el Trolox utilizado como estándar, que reportó un IC 50 de 0,001 mg/mL, esta variación podría deberse a la afinidad de los componentes antioxidantes al solvente utilizado en la extracción; al respecto Rufino (2011) reportó en el estudio de aceite de *Euterpe oleraceae* Mart. asái obtenido de la variedad *Euterpe oleraceae* -BRS Pará ⁴, que el IC50 del extracto del aceite utilizando acetato de etilo, y comparado con el aceite crudo posee gran capacidad antioxidante, que indica que la mayor capacidad antioxidante en este aceite lo presentan los antioxidantes de naturaleza apolar y la separación de esta fracción podría ser una manera de concentrar extractos antioxidantes del aceite.

Comparando los resultados de esta investigación, en relación al IC 50 de extractos de aceites de *Euterpe precatoria* Mart. con los reportados por Kang et al. ⁸⁵ (0,167mg/mL) para extractos de pulpa de *Euterpe precatoria* Mart, se observa que el valor es menor a lo reportado en esta investigación, debido probablemente a la reducción de la concentración de compuestos antioxidantes

que logran transferirse a los aceites al momento de su extracción. Sin embargo, ninguna de los extractos mostró mayor actividad que el trolox utilizado como estándar, que reportó un IC 50 de 0,001 mg/mL.

El contenido total de fenoles en todos los extracto del aceite estudiados fueron superiores a los reportados, en particular el aceite obtenido por solventes orgánicos que reportó el valor de 1 101,5 mg ácido gálico/100 g de aceite, seguido de aceite obtenido por prensado (1 050 AG/100g) y el de pre tratamiento enzimático (381,25 mg AG/100g), todos los resultados fueron superiores a los reportados por y Gordon et al. (2012) ⁸⁹ que reportó valores de $73,0 \pm 4,8$ y $31,2 \pm 2,6$ mg ácido gálico / g de peso seco de extracto de las variedades *Euterpe precatoria* Mart. y *Euterpe oleraceae* Mart., observándose un mayor presencia de compuestos fenólicos en la especie en estudio. Rojano et al. ⁷⁹ y Gordon et al. ⁸⁹ reportaron un contenido fenólico total menor (3172 ± 154 y 3437 ± 154 mg ácido gálico / 100 g de peso seco, respectivamente) que demostró el contenido antioxidante superior de la especie *Euterpe precatoria* Mart., al compararlos con los estudios realizados en *Euterpe oleraceae* Mart. de Brasil y área del Pacífico colombiano.

Respecto a la evaluación de deterioro hidrolítico, como un proceso que involucra el desdoblamiento de los enlaces ésteres entre los hidroxilos del glicerol y los ácidos grasos, cuya reacción se cataliza por ácidos, lipasas y temperaturas elevadas; en el caso de aceite extraído de frutos de palmeras de regiones tropicales, tienden a incrementar su acidez, sí el aceite no se analiza al obtenido ⁹⁰. El fruto de *Euterpe precatoria* Mart. posee lipasas a nivel de semilla, no se ha reportado en pulpa ni en aceite, por lo que el incremento del índice de acidez se atribuye directamente a los pigmentos característicos del aceite y a las condiciones de almacenamiento. Cuando se evalúa la estabilidad, en realidad se estima el comportamiento futuro, influido no solo por el proceso de obtención del aceite: condiciones de almacenamiento e historia del producto están implicados también por la composición química del aceite, como se ha

discutido anteriormente. La presencia o ausencia de antioxidantes o pro-oxidantes, la cantidad de ácidos grasos insaturados, su tipo, etc., constituyen factores de vital importancia en la estabilidad de un aceite.⁹¹

Respecto a la evaluación de la estabilidad de los aceites y vida útil referido al deterioro hidrolítico del aceite, se observa que la muestra con mayor vida útil fue el aceite obtenido por prensado en frío almacenado a 20°C (6,5 meses), debido al menor deterioro de los ácidos grasos en el proceso de extracción, el tiempo de vida útil mínimo del aceite obtenido por solventes almacenado a 40°C (0.68 semanas), debido a la alta temperatura de almacenamiento que se suma al deterioro hidrolítico sufrido por el aceite en el proceso de extracción, de tal manera que el aceite obtenido por este método almacenado a 20°C tiene sólo vida útil de 1.23 semanas; observándose como se reporta Salazar et al.⁹² que los aceites tienden a reducir el tiempo de vida útil a medida que aumenta la temperatura. La degradación oxidativa, también llamada autoxidación, desde el punto de vista de calidad, es el factor más importante en aceites y grasas. En este caso, se trata de la reacción del oxígeno atmosférico con los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, en el caso del aceite de *E. precatoria* es el ácido linolénico. Esta reacción genera los productos primarios de la oxidación (peróxidos e hidroperóxidos), los cuales por múltiples reacciones paralelas producen los compuestos secundarios de la reacción, sean volátiles, aldehídos, cetonas y ácidos, o no volátiles: dímeros, trímeros y polímeros, característicos de productos rancios, la reacción de autoxidación no es posible de evitar, pero es posible retardarla mediante almacenamiento a bajas temperaturas y/o la protección contra la luz.⁹¹

Respecto al deterioro oxidativo, el aceite con mejor vida útil fue el aceite obtenido por extracción por solventes y almacenado a 20°C (9,02 semanas), seguido por el aceite extraído con pre tratamiento enzimático que en las diferentes temperaturas de almacenamiento fue en promedio 3.2 semanas. Para obtener aceites con mayor tiempo de vida útil es indispensable aplicar

métodos de conservación especiales como los sugeridos por Barrena ⁹¹ por eliminación del oxígeno de secuestrantes de oxígeno, como el ácido ascórbico, que reacciona con el oxígeno disuelto extrayéndolo del sistema, con aplicación de vacío principalmente del aire del espacio de cabeza del envase que contiene el aceite, y aplicación de un gas inerte como el nitrógeno, que reduce la cantidad de oxígeno disuelto y substituye el aire. En los aceites estudiados se reportó menor deterioro hidrolítico en el aceite obtenido por prensado en frío debido a la conservación de los triglicéridos en el proceso de extracción en relación al deterioro oxidativo el aceite extraído por solventes y almacenado a 20°C. El comportamiento del aceite extraído con pre tratamiento enzimático mostró vida útil de 1,2 semanas para el deterioro electrolítico y 4,2 para el oxidativo, probablemente debido al proceso de pre tratamiento que se necesitó autoclavar las muestras de pulpa antes de la extracción y la temperatura de 40°C del proceso que su actividad óptima.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

1. El método de extracción con mayor rendimiento fue el de extracción con solventes ($42,58 \pm 1,757$). No hubo diferencia estadísticamente significativa de los rendimientos de extracción de prensado y pre tratamiento enzimático-prensado.
2. Las características fisicoquímicas del aceite son similares a las obtenidas por prensado y extracción con pre tratamiento enzimático. Se observó diferencia estadísticamente significativa entre estos y el aceite obtenido por extracción con solventes el cual reportó una menor calidad en estas características.
3. La capacidad antioxidante más alta ($IC_{50} = 1.82 \text{ mg/mL}$) y la mayor proporción de compuestos fenólicos totales ($11010,5 \text{ mg AG/100g}$) la reportó el aceite extraído por solventes, sin embargo ninguna de las muestras superó al trolox utilizado como estándar.
4. Los aceites presentaron estabilidad muy variada expresada en tiempo de vida útil. El aceite con mejor comportamiento respecto al deterioro hidrolítico fue el aceite obtenido por prensado en frío (6,5 meses) y el de mejor comportamiento oxidativo fue el aceite obtenido por extracción por solventes (9,02 semanas)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brack EA. Tratado de Libre Comercio y Biodiversidad del Perú. Cent Amaz Antropol y Apl Práctica Lima, Perú. 2004;
2. Balick MJ. Amazonian oil palms of promise: a survey. *Econ Bot.* 1979; 33(1):11–28.
3. Balslev H, Grandez C, Zambrana NYP, Møller AL, Hansen SL, Biología RP De, et al. Palmas (Arecaceae) útiles en los alrededores de Iquitos, Amazonía Peruana. *Rev Peru Biol.* 2008; 15 (Supl.1:121–32.
4. Rufino MDSM, Pérez-Jiménez J, Arranz S, Alves RE, de Brito ES, Oliveira MSP, et al. Açaí (Euterpe oleraceae) “BRS Pará”: A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011 Aug [cited 2012 Nov 16]; 44(7):2100–6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996910003194>
5. Avalos G, Otárola MF, Engeln JT. Successional stage, fragmentation and exposure to extraction influence the population structure of *Euterpe precatoria* (Arecaceae). *Rev Biol Trop.* 2013 Sep; 61(3):1415–24.
6. Pereira Gomes-Silva D. Palm trees and diverse other species [Internet]. 2010 p. 191–6. Available from: www.fao.org/docrep/015/i2360e/i2360e04.pdf
7. Vallejo MI, Galeano G, Bernal R. Manejo de la palma naidí (*Euterpe oleraceae*) para un aprovechamiento sostenible del palmito en la Costa Pacífica Colombiana. . Colombia. In: Proyecto FP7 PALMS-Perú (UNMSM), editor. Simposio Internacional-Impacto de la Cosecha de Palmeras en los Bosques Tropicales. Tingo María, Huánuco: Facultad de Recursos Naturales Renovables (UNAS); 2013. p. 14.
8. Pintaud J, Galeano G, Balslev H, Bernal R, Borchsenius F, Ferreira E, et al. Las palmeras de América del Sur: diversidad, distribución e historia evolutiva. *Rev Peru Biol UNMSM.* 2008; 15 (supl.1 (1):5–27.
9. Agencia de Comercio Exterior de Bolivia. Estudio de mercado “recurso asái.” La Paz, Bolivia; 2009 p. 9–22.
10. Stoian D. Todo lo que sube tiene que bajar : la economía del palmito (*Euterpe precatoria* Mart.) en el norte amazónico de Bolivia. In: Alexiades M, Shanley P, editors. Productos Forestales, Medios de Subsistencia y Conservación- Estudios de Caso sobre Sistemas de Manejo de Productos Forestales No Maderables [Internet]. Volumen 3-. Bogor Barat, Indonesia: Centro para la investigación Forestal

- Internacional; 2004. [cited 2014 Apr 20] p. 119–25. Available from: <http://www.cifor.org/publications/ntfbsite/pdf/NTFP-Latin-R.PDF>
11. Kahn F, Arana C. Las palmeras en el marco de la investigación para el desarrollo en América del Sur. *Rev Peru Biol UNMSM*. 2008; 15:3–4.
 12. Johnson D V. Asaí (Euterpe precatoria) para la Producción de Palmito en la Concesión Forestal de Tarumá. Santa Cruz, Bolivia; 1996 p. 3–9.
 13. Food and Agriculture Organization. Fats and oils in human nutrition. United Nations and the World Health Organization [Internet]. 1993 [cited 2014 Apr 20]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/V4700E/V4700E00.htm>
 14. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural de las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe. San José. Costa Rica; 2009 p. 91.
 15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consulta de Expertos sobre Productos Forestales No Madereros para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile; 1994.
 16. Serviço Florestal Brasileiro. Açaí - Euterpe precatoria Guía da Espécie [Internet]. Brasília - DF; 2001 [cited 2014 Apr 20] p. 10–20. Available from: <http://www.florestal.gov.br/guia-de-especies-pfnm/view-category>
 17. Sabbe S, Verbeke W, Van Damme P. Analysing the market environment for açaí (Euterpe oleraceae Mart.) juices in Europe. *Fruits* [Internet]. 2009 Oct 23 [cited 2012 Nov 16]; 64(5):273–84. Available from: <http://www.fruits-journal.org/10.1051/fruits/2009022>
 18. Kahn F. Palms as key swamp forest resources in Amazonia. *For Ecol Manage* [Internet]. 1991 [cited 2013 Dec 11]; 38(3):133–42. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811279190139M>
 19. Wong DYS, Musgrave IF, Harvey BS, Smid SD. Açaí (Euterpe oleraceae Mart.) berry extract exerts neuroprotective effects against β -amyloid exposure in vitro. *Neurosci Lett*. 2013 Nov; 556:221–6.
 20. Galotta ALQA. Antioxidant and cytotoxic activities of “açaí” (Euterpe precatoria Mart.). *Quim Novas*. 2008; 31(6):1427–30.
 21. Queiroz de Assis Galotta AL, Diamantino Boaventura MA. Constituintes químicos da raiz e do talo da folha do açaí (Euterpe precatoria MART., Arecaceae). *Quim Nova*. 2005; 28(4):610–3.
 22. Silva Do Nascimento RJ, Couri S, Antoniassi R, Pereira Freitas S. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com

- enzimas e com hexano. *Rev Bras Frutic*, Jaboticabal. 2008; 30(2):498–502.
23. Jäger M. Cómo vincular la Biodiversidad Agrícola con Mercados de Alto Valor – Oportunidades, Retos y Factores de Éxito. Seminario Biodiversidad, Biocomercio y Desarrollo Sostenible. Palmira, Colombia; 2010. p. 15–20.
 24. Uribe FGO. Diccionario de metodología de la investigación científica/Methodology dictionary of scientific investigation [Internet]. Editorial Limusa; 2003 [cited 2014 Nov 11]. Available from: <http://books.google.com/books?id=3G1fB5m3eGcC&pgis=1>
 25. Balick MJ. The palm-tree of life: biology, utilization and conservation. Proceedings of a symposium at the annual meeting of the Society for Economic Botany held at the New York Botanical Garden, Bronx, on 13-14 June, 1986. [Internet]. New York Botanical Garden; 1988 [cited 2013 Dec 11]. Available from: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19910304265.html>
 26. Hermann M. The impact of the European Novel Food Regulation on trade and food innovation based on traditional plant foods from developing countries. *Food Policy* [Internet]. 2009 Dec [cited 2011 Aug 18]; 34(6):499–507. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.08.005>
 27. Berger, Nils. Rodrigues V. Artisan oil extraction methods for oleaginous cultures of the Santarém District, Pará State, middle Amazon, Brazil. Stuttgart-Hohenheim: Conference on International Agricultural Research for Development; 2005.
 28. Pacheco-Palencia LA, Duncan CE, Talcott ST. Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species, *Euterpe oleraceae* and *Euterpe precatoria*. *Food Chem* [Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Aug [cited 2012 Nov 7]; 115(4):1199–205. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814609000715>
 29. Neida S, Elba S. Caracterización del acai o manaca (*Euterpe oleraceae* Mart.): un fruto del Amazonas. 2007; 57.
 30. Oliva MJ, Von Braun J, Salinas Lanao G. Biocultural community protocols and ethical biotrade: exploring participatory approaches in Peru. London; 2012 p. 166–72.
 31. Galotta ALQA, Boaventura MAD, Lima LARS. Antioxidant and cytotoxic activities of “açai” (*Euterpe precatoria* Mart.). *Química Nova*. 2008. p. 1427–30.
 32. Peña L, Barrera G J, Hernández G. M. Obtención de Pulpa de Asai (*Euterpe Precatoria* MART) en la Amazonía Norte Colombiana. *Vitae*. 2012; 19(1):147–9.

33. Castillo YM, Lares M, Hernández M. Caracterización bromatológica y fisicoquímica del fruto amazónico Asaí (*Euterpe precatoria* Mart). *Vitae*. 2012; 19(1):09–11.
34. Arecaceae_Euterpe_precatoria_Tree_R1_LMoreno.jpg (imagen JPEG, 414 × 620 píxeles).
35. Bussmann RW, Zambrana NYP. Facing global markets – usage changes in Western Amazonian plants: the example of *Euterpe precatoria* Mart. and *E. oleraceae* Mart. *Acta Soc Bot Pol* [Internet]. 2012 Nov [cited 2013 Dec 13]; 81(4):257–61. Available from: <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/asbp/article/view/asbp.2012.032>
36. Wadt LH de O, Rigamonte -Azevedo OC, Linhares Ferreyra E JL, Brasil da Cunha Cartaxo CB da C. Manejo de açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) para produção de frutos. 2007.
37. Bussmann RW, Paniagua Zambrana NY. Facing global markets – usage changes in Western Amazonian plants: the example of *Euterpe precatoria* Mart. and *E. oleraceae* Mart. *Acta Soc Bot Pol* [Internet]. 2012 Nov 16 [cited 2014 Jan 31]; 81(4):257. Available from: <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/asbp/article/view/asbp.2012.032>
38. Sosnowska J, Balslev H. Redalyc.American palms used for medicine, in the ethnobotanical and pharmacological publications. *Rev Peru Biol UNMSM*. 2008; 15 (supl.1):143–6.
39. Peña M, Zuidema PA, Zonta A, Gonçalves A, Chapi G, Programa Manejo de Bosques de la Amazonía Boliviana, et al. Producción de palmito: limitaciones del manejo sostenible de poblaciones naturales de asaí (*Euterpe precatoria*) y el potencial del cultivo del tembe (*Bactris gasipaes*) como fuente alternativa. Riberalta, Beni, Bolivia: PROMAB/IPHAE; 2001.
40. Inés L, Lorena RP, Ramírez H. Potencial de recuperación de aceite a partir de pulpa de asaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) producido en el pacífico colombiano. *Fund Univ Bogotá Jorge Tadeo Lozano*. : 40–53.
41. Tao BY. Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources [Internet]. *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources*. Elsevier; 2007 [cited 2014 Apr 20]. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444521149500256>
42. Sabikhi L, Sathish Kumar MH. Fatty acid profile of unconventional oilseeds. *Adv Food Nutr Res* [Internet]. 2012 Jan [cited 2014 Apr 9]; 67:141–84. Available from:

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123945983000046>
43. Buist PH. Comprehensive Natural Products II [Internet]. Comprehensive Natural Products II. Elsevier; 2010 [cited 2014 Mar 21]. p. 5–33. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080453828007206>
 44. Ghafourian T, Zandasrar P, Hamishekar H, Nokhodchi A. The effect of penetration enhancers on drug delivery through skin: a QSAR study. J Control Release [Internet]. 2004 Sep 14 [cited 2014 Apr 13]; 99(1):113–25. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365904002949>
 45. Choi J, Choi M-K, Chong S, Chung S-J, Shim C-K, Kim D-D. Effect of fatty acids on the transdermal delivery of donepezil: in vitro and in vivo evaluation. Int J Pharm [Internet]. 2012 Jan 17 [cited 2014 Apr 18]; 422(1-2):83–90. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517311009707>
 46. Vermaak I, Kamatou GPP, Komane-Mofokeng B, Viljoen a. M, Beckett K. African seed oils of commercial importance — Cosmetic applications. South African J Bot [Internet]. SAAB; 2011 Oct [cited 2014 Mar 29]; 77(4):920–33. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254629911001074>
 47. Bockisch M. Extraction of vegetable oils. In: AOCS Press, editor. Fats and Oils Handbook [Internet]. Champaign, USA: AOCS Press; 1998 [cited 2014 Apr 20]. p. 838. Available from: <http://books.google.com/books?id=ixEtWwg72OQC&pgis=1>
 48. Bargale PC. Mechanical oil expression from selected oilseeds under uniaxial compression [Internet]. 1997 [cited 2014 Apr 20]. Available from: <http://ecommons.usask.ca/handle/10388/etd-10212004-000419>
 49. Bredeson DK. Mechanical oil extraction. J Am Oil Chem Soc [Internet]. 1983 Feb [cited 2014 Apr 20]; 60(2):211–3. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF02543484>
 50. Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils [Internet]. American Oil Chemists' Society; 2009 [cited 2014 Apr 20]. Available from: http://books.google.com.pe/books/about/Gourmet_and_Health_Promoting_Specialty_O.html?id=k_p9PgAACAAJ&pgis=1
 51. Kemper T. Oil extraction. In: Shahidi F, editor. Bailey's Industrial Oil and Fat Products [Internet]. 6th ed. John Wiley & Sons, New York.; 2005 [cited 2014 Apr 20]. p. 1. Available from: http://books.google.com.pe/books/about/Bailey_s_Industrial_Oil_and_Fat_Products.html?id=qgJtygAACAAJ&pgis=1

52. Latif S. Analytical investigations to compare the enzyme-assisted extraction of vegetable oils with conventional methods. University of Agriculture Faisalabad; 2009. p. 20–60.
53. Ixtaina V. Caracterización de la semilla y el aceite de Chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos. Universidad Nacional de La Plata; 2010. p. 39–50.
54. Cooke D, Schwarz M, Boocock D, Winterhalter P, Steward WP, Gescher AJ, et al. Effect of cyanidin-3-glucoside and an anthocyanin mixture from bilberry on adenoma development in the ApcMin mouse model of intestinal carcinogenesis--relationship with tissue anthocyanin levels. *Int J Cancer* [Internet]. 2006 Nov 1 [cited 2011 Aug 18]; 119(9):2213–20. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16823841>
55. Eggers R, Sievers U. Processing of oilseed with supercritical carbon dioxide. *J Chem Eng JAPAN* [Internet]. 1989 [cited 2014 Apr 20]; 22(6):641–9. Available from: <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jcej/22.641?from=CrossRef>
56. Reverchon E, Osséo LS. Comparison of processes for the supercritical carbon dioxide extraction of oil from soybean seeds. *J Am Oil Chem Soc* [Internet]. 1994 Sep [cited 2014 Apr 20]; 71(9):1007–12. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF02542270>
57. Darr JA, Poliakoff M. New Directions in Inorganic and Metal-Organic Coordination Chemistry in Supercritical Fluids. *Chem Rev* [Internet]. American Chemical Society; 1999 Feb [cited 2014 Apr 20]; 99(2):495–542. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/cr970036i>
58. Mondragón Tarrillo IG. Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (*Sacha inchi*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2009. p. 75–80.
59. Parker TD, Adams DA, Zhou K, Harris M, Yu L. Fatty Acid Composition and Oxidative Stability of Cold-pressed Edible Seed Oils. *J Food Sci* [Internet]. 2003 May [cited 2014 Apr 20]; 68(4):1240–3. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09632.x>
60. Brokamp G, Valderrama N, Mittelbach M, Grandez CA, Barfod AS, Weigend M. Trade in palm products in north-western South America. *Bot Rev* [Internet]. 2011 [cited 2013 Dec 13]; 77(4):571–606. Available from: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12229-011-9087-7>

61. Ávila LM, Díaz Merchán JA. Aceite de Seje (*Oenocarpus bataua*). Bogotá, Colombia; 2002 p. 4–5.
62. Barrios VA, Olmos DA, Noyola RA, López Munguía CA. Optimization of an enzymatic process for coconut oil extraction. *Oleagineux* [Internet]. 1990 [cited 2014 Apr 20]; 45(1):35–42. Available from: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19896772329.html;jsessionid=A677104D782F7588064BAC37084A2432>
63. Puri M, Sharma D, Barrow CJ. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends Biotechnol* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012; 30(1):37–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
64. Tironi VA. Rancidez oxidativa en salmón de mar (*Pseudopercis semifasciata*): interacción lípidos oxidados-proteínas [Internet]. 2005 [cited 2014 Apr 20]. Available from: <http://hdl.handle.net/10915/2293>
65. Frankel E. Lipid oxidation. 2005 [cited 2014 Apr 20]; Available from: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20053161712.html>
66. Davidovich LA, Soulé CL, Lupín HM. Kinetics of fish meal oxidation. *J Am Oil Chem Soc* [Internet]. 1980 Jan [cited 2014 Apr 20]; 57(1):43–7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF02675524>
67. Labuza T, McNally L. Stability of intermediate moisture foods. 1. Lipid oxidation. *J Food ...* [Internet]. 1972 [cited 2014 Apr 20]; Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03408.x/abstract>
68. Shahidi F. Quality Assurance of Fats and Oils. In: Shahidi F, editor. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Sixth. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2005. p. 565–75.
69. Commission FCA. Recommended International Standard for Edible Sunflower seed Oil [Internet]. FAO/WHO; 1969 [cited 2014 Apr 20]. Available from: http://books.google.com.pe/books/about/Recommended_International_Standard_for_E.html?id=yRa2nAEACAAJ&pgis=1
70. Codex. Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales CODEX STAN 19-1981 (Rev. 2-1999). 1999 p. 1–5.
71. Folashade O, Omoregie H, Ochogu P. Standardization of herbal medicines - A review. *Int J Biodivers Conserv* [Internet]. 2012 Mar [cited 2013 Mar 4]; 4(3):101–12. Available from: [http://www.academicjournals.org/ijbc/abstracts/abstracts/abstracts2012/March/Kunle et al.htm](http://www.academicjournals.org/ijbc/abstracts/abstracts/abstracts2012/March/Kunle%20et%20al.htm)

72. O'Brien RD. Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications, Second Edition [Internet]. CRC Press; 2003 [cited 2014 Apr 20]. Available from: http://books.google.com.pe/books/about/Fats_and_Oils.html?id=R1_1nwznq7EC&pgis=1
73. Kleiman R, Ashley D a., Brown JH. Comparison of two seed oils used in cosmetics, moringa and marula. Ind Crops Prod [Internet]. 2008 Nov [cited 2014 Mar 27]; 28(3):361–4. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669008000708>
74. Gónas P, Siger A, Segliņa D. Physicochemical characteristics of the cold-pressed Japanese quince seed oil: New promising unconventional bio-oil from by-products for the pharmaceutical and cosmetic industry. Ind Crops Prod [Internet]. 2013 Jul [cited 2014 Apr 15]; 48:178–82. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669013001787>
75. Namakforoosh MN. Metodología de la investigación [Internet]. Editorial Limusa; 2000 [cited 2014 Nov 3]. Available from: <http://books.google.com/books?id=ZEJ7-0hmvhwC&pgis=1>
76. AOAC. Official Methods of Analysis. 19 Th. Dr. George W. Latimer J, editor. 2012.
77. Townsend CR, Costa NDL. Características químico-bromatológica do caroço de açaí. São Paulo; 1997 p. 3–8.
78. Barreira RM. Caracterização Físico-química do Endocarpo do Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para Aplicação em Síntese de Poliuretana. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO; 2009. p. 25–30.
79. Castillo YM, Lares M, Pablo J, Universitaria C. Bioactive compounds of asai palm fruit and their impact on health. Foods [Internet]. 2013; 1:4–5. Available from: www.mdpi.com/journal/foods
80. Rufino M, Pérez-Jiménez J. Açaí (*Euterpe oleraceae*)'BRS Pará': A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. Food Res ... [Internet]. 2011 [cited 2014 Nov 10]; 44:2100–6. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996910003194>
81. Sanabria N, Sangronis E. Caracterización del acai o manaca (*Euterpe oleraceae* Mart.): un fruto del Amazonas. Arch Latinoam Nutr. 2007; 57(1):94–8.
82. Gomes De Brito Mariano R, Couri S, Freitas Pereira S. Enzymatic technology to improve oil extraction from *Caryocar brasiliense* camb. (Pequi) Pulp. Rev Bras Frutic [Internet]. 2009 Sep; 31(3):637–43. Available from:

- http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-294520090003000003&lng=en&nrm=iso&tlng=en
83. Latif S. Analytical Investigations to Compare the Enzyme-Assisted Extraction of Vegetable Oils with Conventional Methods. [Dissertation]. University of Agriculture; 2009. p. 34–7.
 84. Guerra E, Zúñiga M. Tratamiento enzimático en la extracción de aceite de pipa de uva, *Vitis vinifera* por prensado en frío. *Grasas y Aceites*. 2003; 54(1):53–7.
 85. Kang J, Thakali KM, Xie C, Kondo M, Tong Y, Ou B, et al. Bioactivities of açai (*Euterpe precatoria* Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleraceae* Mart. *Food Chem* [Internet]. 2012 Aug [cited 2014 Nov 10]; 133(3):671–7. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612000817>
 86. Odendaal AY, Schauss AG. Polyphenols in Human Health and Disease. In: AIBMR Life Science, editor. Polyphenols in Human Health and Disease [Internet]. Washington D.C: Elsevier; 2014 [cited 2014 Nov 9]. p. 219–39. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00018-9>
 87. Natural Sourcing LLC. INCI: Acai (*Euterpe oleraceae*) Pulp Oil [Internet]. Acai Berry Oil. 2013 [cited 2014 Nov 10]. Available from:
<http://www.pdfio.net/k-5036486.html>
 88. Natural Sourcing LLC. Natural Organic and Conventional Cosmeceutical Ingredients Supplier [Internet]. Acai Berry Oil. 2007 [cited 2014 Nov 10]. Available from: <https://www.naturalsourcing.com/>
 89. Gordon A, Cruz APG, Cabral LMC, de Freitas SC, Taxi CMAD, Donangelo CM, et al. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açai fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. *Food Chem* [Internet]. 2012 Jul [cited 2014 Nov 6]; 133(2):256–63. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612000179>
 90. Okada Y, Motoya T, Tanimoto S, Nomura M. A Study on Fatty Acids in Seeds of *Euterpe oleraceae* Mart Seeds. *J Oleo Sci* [Internet]. 2011; 60(9):463–7. Available from:
<http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jos/60.463?from=CrossRef>
 91. Barrera Arellano D. Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. *Grasas y Aceites* [Internet]. 2010 Jan 12; 49(1):55–63. Available from:
<http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/709/720>

92. Marcano ES de, Belén D, Marín G, Moreno H. Cinética de deterioro del aceite de la semilla de *Attalea maripa*. *Saber, Univ del Oriente-Venezuela*. 2007; 19(2):172–82.

ANEXOS

Muestra para análisis morfológico



Fruto, pulpa (exocarpo y mesocarpo) y semilla

Figura 17 Análisis morfológico de *Euterpe precatoria* Mart.



Frutos frescos de Asaí



Equipo pulpeador

	
Semillas de asaí posterior al despulpado	Semillas de asaí en pulpeadora
	
Pulpa de asaí	Pulpa de asaí

Preparación de la muestra

	
Pulpa descongelada de asaí	Estufa de aire circulante



Figura 18 Obtención de la pulpa de *Euterpe precatoria* Mart.

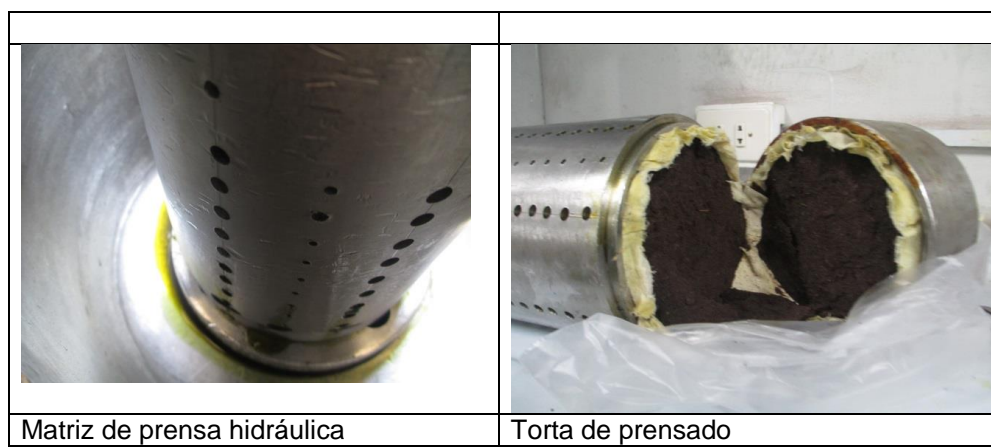




Figura 19 Extracción por prensado en frío.





Figura 20 Extracción con pre tratamiento enzimático.

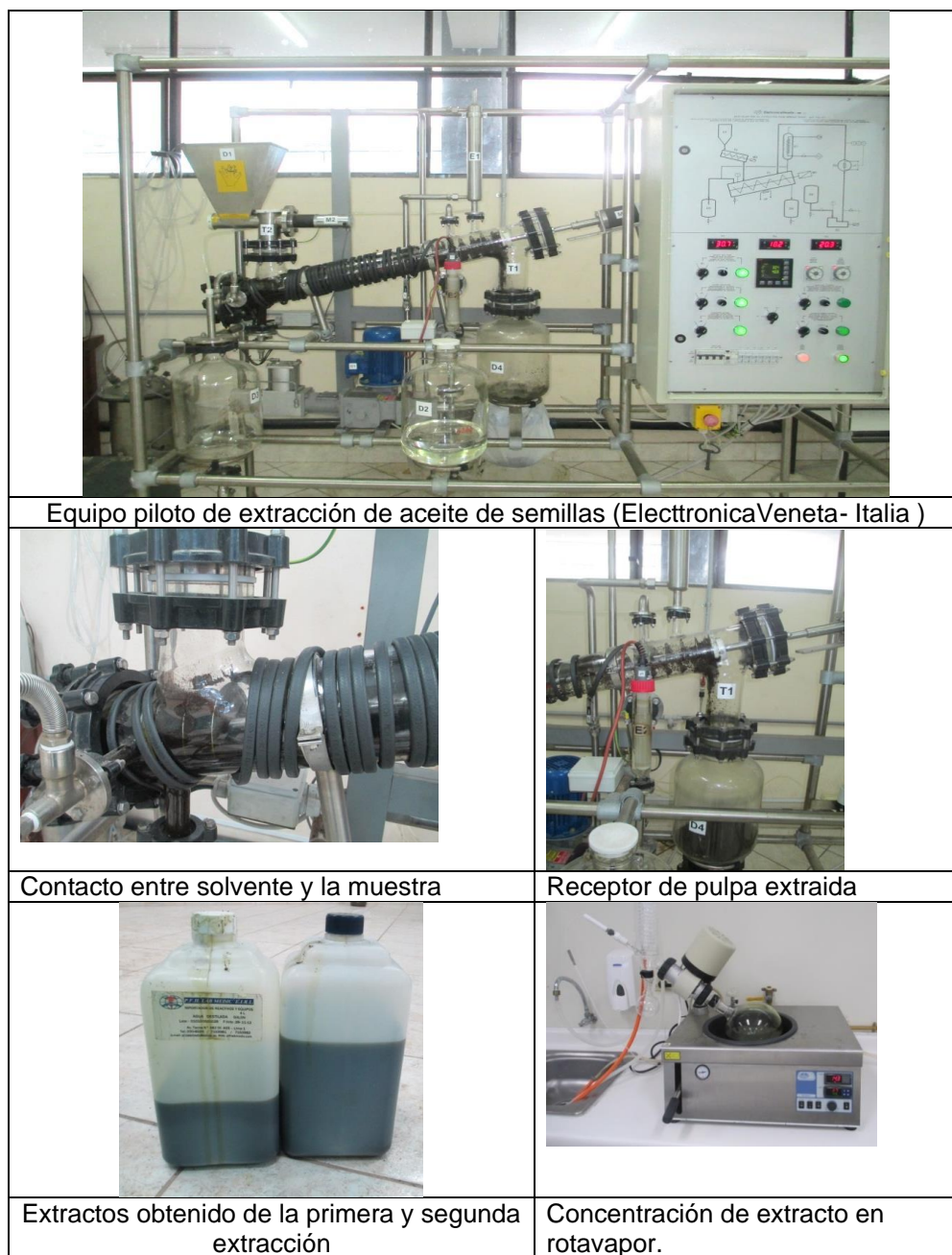


Figura 21 Extracción por solventes orgánicos. LOPU .Universidad Nacional del Callao

Cuadro 19 Datos del análisis morfológico de *Euterpe precatoria* Mart.

Longitud (cm)	Diámetro	Fruto	Cascara + Pulpa	Semilla (g)	Pulpa (%)
1,470	1,43	2,2269	0,584	1,6429	26,225
1,320	1,47	1,9886	0,3957	1,5929	19,898
1,450	1,39	2,3228	0,5198	1,803	22,378
1,540	1,47	2,134	0,517	1,617	24,227
1,240	1,4	1,7012	0,3793	1,3219	22,296
1,250	1,43	1,733	0,3697	1,3633	21,333
1,385	1,4	2,0704	0,4338	1,6366	20,952
1,300	1,3	1,7066	0,3424	1,3642	20,063
1,140	1,33	1,4143	0,3156	1,0987	22,315
1,320	1,51	1,9917	0,3969	1,5948	19,928
1,580	1,53	2,1862	0,491	1,6952	22,459
1,375	1,61	2,1782	0,45	1,7282	20,659
1,210	1,38	1,5289	0,3227	1,2062	21,107
1,300	1,46	1,6884	0,4062	1,2822	24,058
1,395	1,44	1,6327	0,3811	1,2516	23,342
1,440	1,455	2,059	0,5022	1,5568	24,390
1,240	1,33	1,4902	0,4592	1,031	30,815
1,350	1,48	1,8895	0,4253	1,4642	22,509
1,295	1,39	1,6106	0,3291	1,2815	20,433
1,320	1,53	1,8318	0,3885	1,4433	21,209
1,350	1,41	1,937	0,5569	1,3801	28,751
1,350	1,33	1,7352	0,5717	1,1635	32,947
1,290	1,44	1,8677	0,3851	1,4826	20,619
1,290	1,446	1,6095	0,3417	1,2678	21,230
1,385	1,455	1,8086	0,3726	1,436	20,602
1,150	1,36	1,3142	0,2763	1,0379	21,024
1,240	1,47	1,6906	0,3438	1,3468	20,336
1,275	1,385	1,4802	0,3259	1,1543	22,017
1,240	1,36	1,4899	0,3751	1,1148	25,176
1,240	1,36	1,5932	0,4093	1,1839	25,690
Media					
1,324	1,425	1,797	0,412	1,385	22,966
Desviación					
0,1025	0,0694	0,2660	0,0810	0,2154	3,2272

Cuadro 20 Análisis estadístico de la evaluación morfológica de frutos de *Euterpe precatoria* Mart.

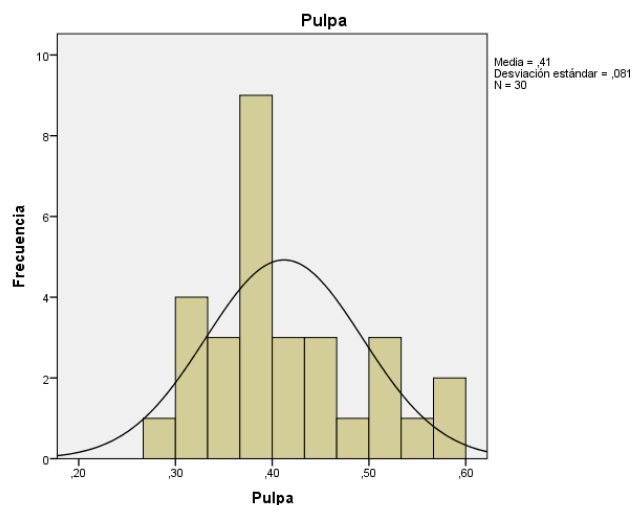
Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico	Estadístico
Longitud	30	1,14	1,58	1,3243	,01871	,10248	,011
Diámetro	30	1,30	1,61	1,4250	,01266	,06935	,005
Peso	30	1,31	2,32	1,7970	,04856	,26595	,071
Pulpa	30	,28	,58	,4123	,01479	,08102	,007
Semilla	30	1,03	1,80	1,3848	,03933	,21540	,046
N válido (por lista)	30						

Cuadro 21 Análisis de frecuencia de los medidas de longitud, diámetro, peso de fruto, peso de pulpa y peso de semilla en fruto de *Euterpe precatoria* Mart.

Estadísticos						
		Longitud	Diámetro	Peso	Pulpa	Semilla
N	Válido	30	30	30	30	30
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		1,3243	1,4250	1,7970	,4123	1,3848
Mediana		1,3100	1,4300	1,7341	,3921	1,3638
Moda		1,24	1,33 ^a	1,31 ^a	,28 ^a	1,03 ^a
Percentiles	10	1,2130	1,3300	1,4812	,3230	1,1003
	20	1,2400	1,3600	1,5418	,3418	1,1676
	25	1,2400	1,3750	1,6054	,3435	1,2006
	30	1,2575	1,3865	1,6172	,3706	1,2565
	40	1,2920	1,4000	1,6948	,3800	1,2981
	50	1,3100	1,4300	1,7341	,3921	1,3638
	60	1,3380	1,4436	1,8533	,4081	1,4404
	70	1,3675	1,4585	1,9731	,4451	1,5345
	75	1,3850	1,4700	2,0085	,4672	1,5934
	80	1,3930	1,4700	2,0681	,5000	1,6126
	90	1,4680	1,5280	2,1854	,5532	1,6900

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Figura 22 Histograma de frecuencia del peso de la pulpa en los frutos de *Euterpe precatoria* Mart



Cuadro 22 Análisis estadístico de la evaluación química proximal de la pulpa seca de *Euterpe precatoria* Mart.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico	Estadístico
Carbohidratos	3	,18	56,63	56,81	56,6990	,05717	,09902	,010
Cenizas	3	,00	5,13	5,13	5,1301	,00055	,00095	,000
Fibras	3	,00	,32	,32	,3220	,00033	,00057	,000
Humedad	3	,01	8,53	8,54	8,5334	,00290	,00502	,000
Lípidos	3	,02	27,27	27,29	27,2809	,00563	,00975	,000
Proteínas	3	,17	2,24	2,42	2,3567	,05833	,10104	,010
N válido (por lista)	3							

Cuadro 23 Análisis estadístico: evaluación de la eficiencia de extracción por prensado en frío de la pulpa seca de *Euterpe precatoria* Mart.

	Rpeso	Raceite
N Válido	5	5
Perdidos	0	0
Error estándar de la media	,27746	1,54145
Desviación estándar	,62041	3,44678
Varianza	,385	11,880
Rango	1,35	7,49
Mínimo	5,11	28,39
Máximo	6,46	35,89

Cuadro 24 Análisis estadístico de la evaluación de la eficiencia de extracción con pre tratamiento enzimático y prensado en frío de pulpa seca de *Euterpe precatoria* Mart

	Rpeso	Raceite
N Válido	7	7
Perdidos	0	0
Error estándar de la media	,26247	1,54396
Desviación estándar	,69444	4,08493
Varianza	,482	16,687
Rango	2,02	11,89
Mínimo	4,53	26,65
Máximo	6,55	38,55

Cuadro 25 Análisis estadístico de la evaluación de la eficiencia de extracción por solventes orgánicos de pulpa seca de *Euterpe precatoria* Mart

	Rpeso	Raceite
N Válido	3	3
Perdidos	4	4
Error estándar de la media	,27669	1,01426
Desviación estándar	,47924	1,75675
Varianza	,230	3,086
Rango	,84	3,08
Mínimo	11,06	40,55
Máximo	11,90	43,63

Cuadro 26 Análisis estadístico descriptivo de los métodos de extracción de aceite de *Euterpe precatoria* Mart

Descriptivos

Raceite

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Prensado	5	31,9130	3,44678	1,54145	27,6333	36,1928	28,39	35,89
Enzimático	7	32,7138	4,08493	1,54396	28,9359	36,4918	26,65	38,55
Solvente	3	42,5777	1,75675	1,01426	38,2137	46,9417	40,55	43,63
Total	15	34,4197	5,38024	1,38917	31,4402	37,3991	26,65	43,63

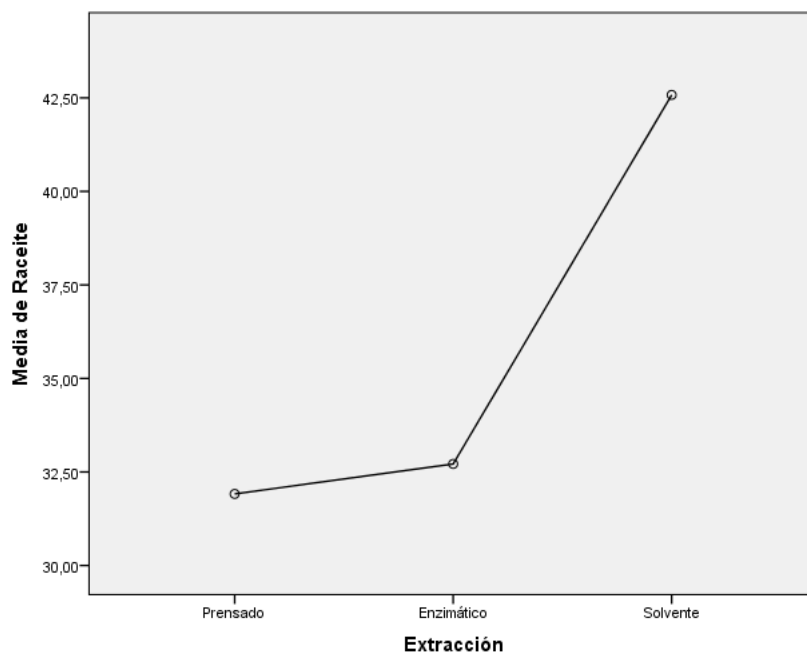


Figura 23 Variación de la media de los diferentes métodos de extracción.

Cuadro 27 Análisis estadístico de los ensayos físicoquímicos del aceite obtenido a través de los métodos de extracción (1,00=Prensado; 2,00=Enzimático; 3,00=Solvente)

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Refracción	1,00	3	1,4689	,00020	,00012	1,4684	1,4694	1,47	1,47
	2,00	3	1,4687	,00058	,00033	1,4672	1,4701	1,47	1,47
	3,00	3	1,4660	,00100	,00058	1,4635	1,4685	1,47	1,47
	Total	9	1,4679	,00151	,00050	1,4667	1,4690	1,47	1,47
Densidad	1,00	3	,9153	,00010	,00006	,9151	,9155	,92	,92
	2,00	3	,9157	,00020	,00012	,9152	,9162	,92	,92
	3,00	3	,9061	,00047	,00027	,9050	,9073	,91	,91
	Total	9	,9124	,00469	,00156	,9088	,9160	,91	,92
Acidez	1,00	3	5,1449	,29150	,16830	4,4208	5,8690	4,98	5,48
	2,00	3	4,9127	,33941	,19596	4,0695	5,7558	4,53	5,17
	3,00	3	9,0840	,61997	,35794	7,5439	10,6241	8,43	9,67
	Total	9	6,3805	2,06578	,68859	4,7926	7,9684	4,53	9,67
Peróxido	1,00	3	2,0775	,09116	,05263	1,8510	2,3040	1,98	2,16
	2,00	3	3,1600	,01732	,01000	3,1170	3,2030	3,15	3,18
	3,00	3	4,2467	,01155	,00667	4,2180	4,2754	4,24	4,26
	Total	9	3,1614	,94044	,31348	2,4385	3,8843	1,98	4,26
Saponificación	1,00	3	265,3865	,01982	,01144	265,3373	265,4357	265,37	265,40
	2,00	3	285,4518	,09488	,05478	285,2161	285,6875	285,39	285,56
	3,00	3	250,4908	,16231	,09371	250,0876	250,8940	250,39	250,68
	Total	9	267,1097	15,19392	5,06464	255,4306	278,7888	250,39	285,56
Yodo	1,00	3	133,563133	,0016166	,0009333	133,559118	133,567149	133,5614	133,5646
	2,00	3	138,523333	,0208167	,0120185	138,471622	138,575045	138,5000	138,5400
	3,00	3	136,562467	,0170251	,0098294	136,520174	136,604759	136,5460	136,5800
	Total	9	136,216311	2,1635051	,7211684	134,553294	137,879328	133,5614	138,5400

Cuadro 28 Prueba de homogeneidad de varianzas entre los análisis fisicoquímicos

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Refracción	1,683	2	6	,263
Densidad	4,088	2	6	,076
Acidez	,910	2	6	,452
Peróxido	4,747	2	6	,058
Saponificación	6,705	2	6	,030
Yodo	3,207	2	6	,113

Cuadro 29 comparaciones múltiples entre los resultados de los métodos de extracción en cada ensayo realizado.

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) Extracción	(J) Extracción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Refracción	1,00	2,00	,00023	,00055	,908	-,0015	,0019
		3,00	,00290*	,00055	,005	,0012	,0046
	2,00	1,00	-,00023	,00055	,908	-,0019	,0015
		3,00	,00267*	,00055	,007	,0010	,0044
	3,00	1,00	-,00290*	,00055	,005	-,0046	-,0012
		2,00	-,00267*	,00055	,007	-,0044	-,0010
Densidad	1,00	2,00	-,00040	,00025	,307	-,0012	,0004
		3,00	,00917*	,00025	,000	,0084	,0099
	2,00	1,00	,00040	,00025	,307	-,0004	,0012
		3,00	,00957*	,00025	,000	,0088	,0103
	3,00	1,00	-,00917*	,00025	,000	-,0099	-,0084
		2,00	-,00040	,00025	,307	-,0012	,0004

		2,00		-,00957 [*]	,00025	,000	-,0103	-,0088
Acidez	1,00	2,00		,23223	,36041	,802	-,8736	1,3381
		3,00		-3,93910 [*]	,36041	,000	-5,0449	-2,8333
	2,00	1,00		-,23223	,36041	,802	-1,3381	,8736
		3,00		-4,17133 [*]	,36041	,000	-5,2772	-3,0655
	3,00	1,00		3,93910 [*]	,36041	,000	2,8333	5,0449
		2,00		4,17133 [*]	,36041	,000	3,0655	5,2772
Peróxido	1,00	2,00		-1,08250 [*]	,04408	,000	-1,2177	-,9473
		3,00		-2,16917 [*]	,04408	,000	-2,3044	-2,0339
	2,00	1,00		1,08250 [*]	,04408	,000	,9473	1,2177
		3,00		-1,08667 [*]	,04408	,000	-1,2219	-,9514
	3,00	1,00		2,16917 [*]	,04408	,000	2,0339	2,3044
		2,00		1,08667 [*]	,04408	,000	,9514	1,2219
Saponificación	1,00	2,00		-20,06527 [*]	,08912	,000	-20,3387	-19,7918
		3,00		14,89573 [*]	,08912	,000	14,6223	15,1692
	2,00	1,00		20,06527 [*]	,08912	,000	19,7918	20,3387
		3,00		34,96100 [*]	,08912	,000	34,6876	35,2344
	3,00	1,00		-14,89573 [*]	,08912	,000	-15,1692	-14,6223
		2,00		-34,96100 [*]	,08912	,000	-35,2344	-34,6876
Yodo	1,00	2,00		-4,9602000 [*]	,0127000	,000	-4,999167	-4,921233
		3,00		-2,9993333 [*]	,0127000	,000	-3,038300	-2,960366
	2,00	1,00		4,9602000 [*]	,0127000	,000	4,921233	4,999167
		3,00		1,9608667 [*]	,0127000	,000	1,921900	1,999834
	3,00	1,00		2,9993333 [*]	,0127000	,000	2,960366	3,038300
		2,00		-1,9608667 [*]	,0127000	,000	-1,999834	-1,921900

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Cuadro 30 Evaluación de subconjuntos homogéneos en cada parámetro fisicoquímico analizado.

Refracción

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
3,00	3	1,4660	
2,00	3		1,4687
1,00	3		1,4689
Sig.		1,000	,908

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Densidad

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
3,00	3	,9061	
1,00	3		,9153
2,00	3		,9157
Sig.		1,000	,307

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Acidez

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
2,00	3	4,9127	
1,00	3	5,1449	
3,00	3		9,0840
Sig.		,802	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Peróxido

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	2,0775		
2,00	3		3,1600	
3,00	3			4,2467
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Saponificación

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
3,00	3	250,4908		
1,00	3		265,3865	
2,00	3			285,4518
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Yodo

HSD Tukey^a

Extracción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
1,0000	3	133,563133		
3,0000	3		136,562467	
2,0000	3			138,523333
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

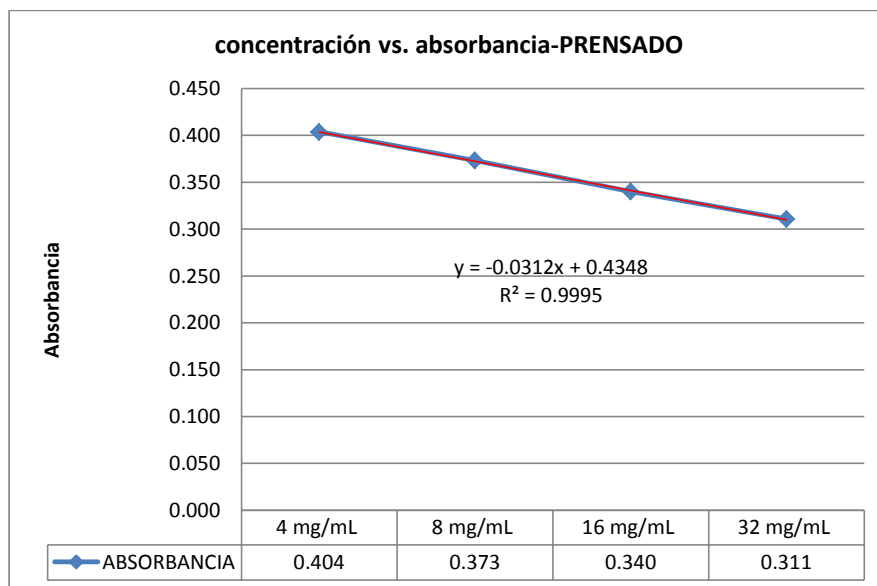


Figura 24 Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 de aceite obtenido por prensado.

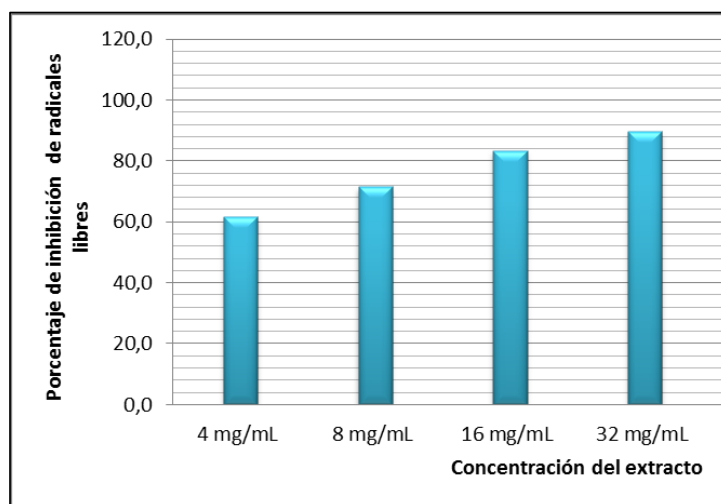


Figura 25 Porcentaje de inhibición de radicales libres con el aceite obtenido con el método de prensado en frío.

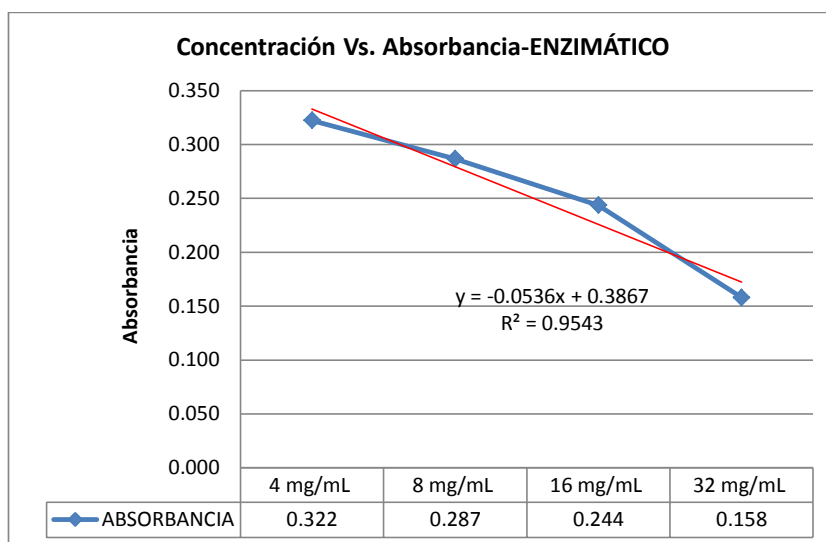


Figura 26 Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC₅₀ de aceite obtenido por extracción con pre tratamiento enzimático.

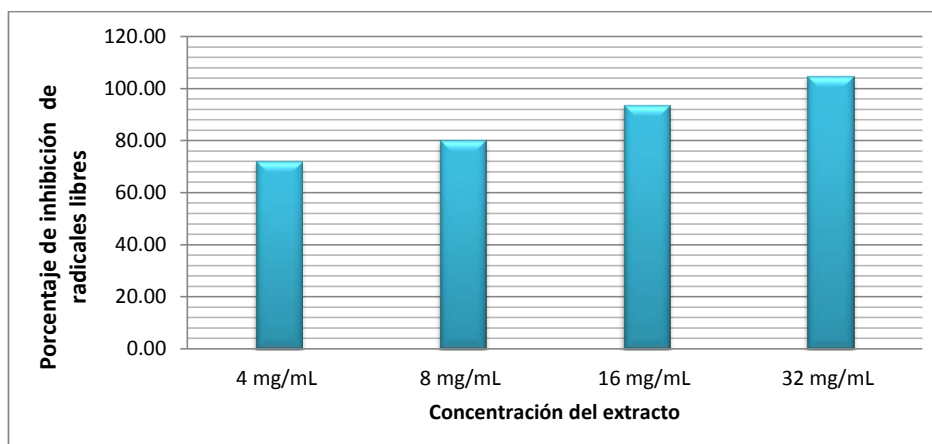


Figura 27 Porcentaje de inhibición de radicales libres por el aceite obtenido por el método con pre tratamiento enzimático.

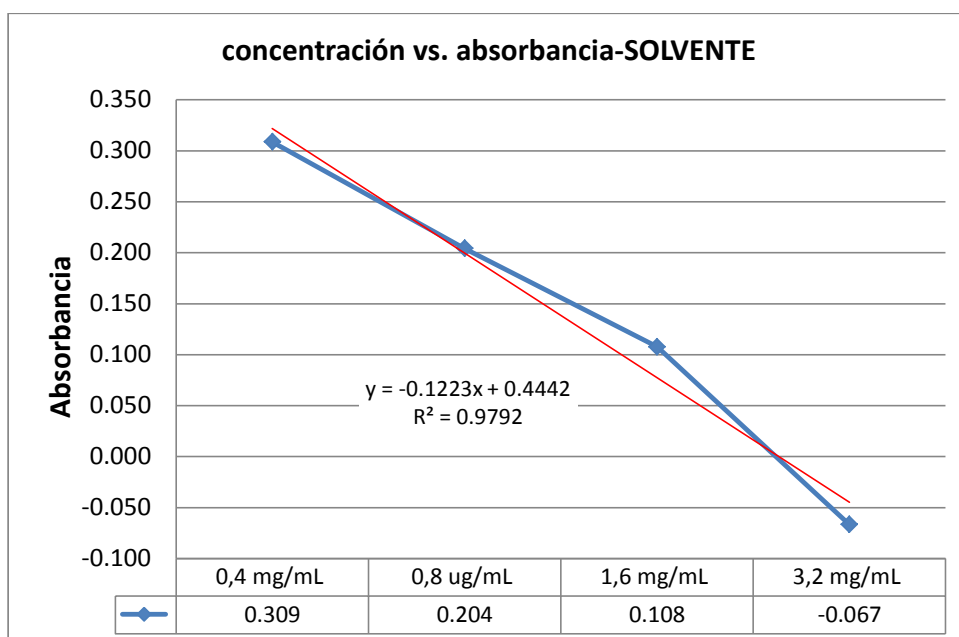


Figura 28 Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 de aceite obtenido por extracción con solvente.

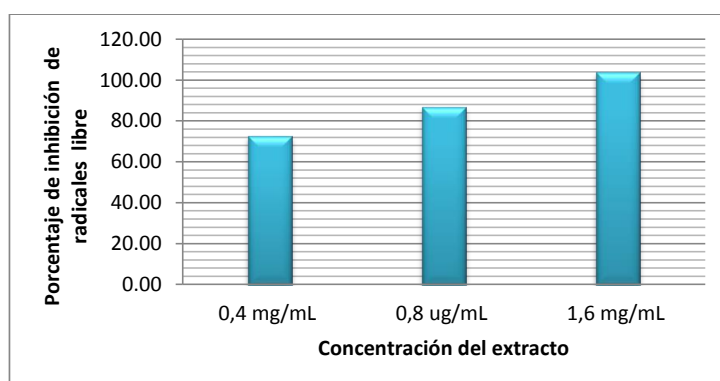


Figura 29 Porcentaje de inhibición de radicales libres con el aceite obtenido por el método con extracción por solventes.

Cuadro 31 Resultado de la capacidad antioxidante de trolox como estándar de capacidad antioxidante

Concentración	A1	A2	A3	Absorbancia	% Inhibición de Radicales Libres
3,6 ug/mL	0,131	0,139	0,140	0,137	66,421
3,0 ug/mL	0,180	0,174	0,170	0,175	57,084
2,4 ug/mL	0,204	0,226	0,282	0,237	41,687
1,8 ug/mL	0,278	0,285	0,285	0,283	30,549
0,9 ug/mL	0,354	0,352	0,350	0,352	13,514

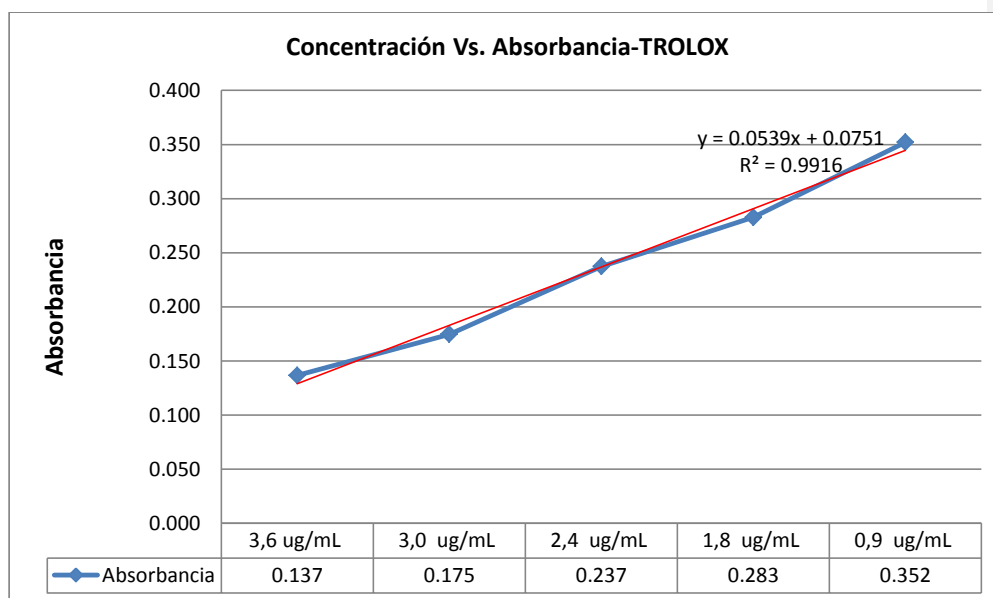


Figura 30 Curva de absorbancia Vs. concentración para calcular IC50 con trolox como estándar

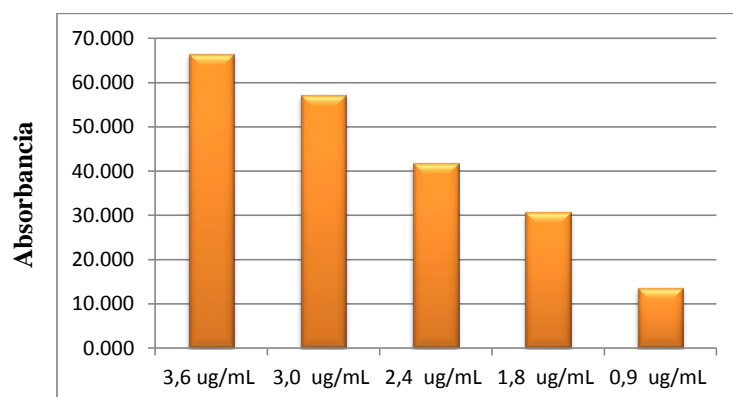


Figura 31 Porcentaje de inhibición de radicales libres con Trolox como estándar.

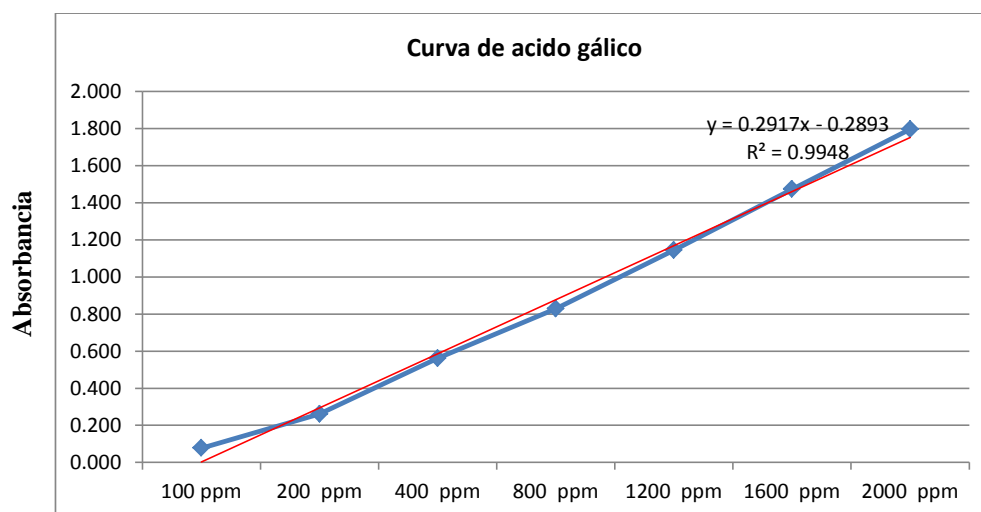


Figura 32 Curva de ácido gálico para el cálculo de los compuestos fenólicos de los aceites obtenidos por diferentes métodos de extracción

Cuadro 32 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio,

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	5,80333	,066078	,038150	5,63919	5,96748	5,757	5,879
	Enzimático	3	9,01500	,062698	,036199	8,85925	9,17075	8,945	9,066
	Solvente	3	11,01333	,090357	,052167	10,78887	11,23779	10,909	11,066
	Total	9	8,61056	2,277201	,759067	6,86014	10,36097	5,757	11,066
Peróxido	Prensado	3	6,5333	,04726	,02728	6,4159	6,6507	6,48	6,57
	Enzimático	3	3,8000	,01732	,01000	3,7570	3,8430	3,79	3,82
	Solvente	3	4,8767	,01155	,00667	4,8480	4,9054	4,87	4,89
	Total	9	5,0700	1,19270	,39757	4,1532	5,9868	3,79	6,57

a la temperatura de 40 ° C en la semana 2.

Cuadro 33 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 4.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	7,38667	,005774	,003333	7,37232	7,40101	7,380	7,390
	Enzimático	3	12,62000	,017321	,010000	12,57697	12,66303	12,600	12,630
	Solvente	3	17,16000	,086603	,050000	16,94487	17,37513	17,110	17,260
	Total	9	12,38889	4,235757	1,411919	9,13300	15,64478	7,380	17,260
Peróxido	Prensado	3	12,8160	,00721	,00416	12,7981	12,8339	12,81	12,82
	Enzimático	3	9,5301	,00981	,00566	9,5058	9,5545	9,52	9,54
	Solvente	3	14,5087	,00929	,00536	14,4856	14,5317	14,50	14,52
	Total	9	12,2849	2,19227	,73076	10,5998	13,9701	9,52	14,52

Cuadro 34 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 6.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	8,45900	,006245	,003606	8,44349	8,47451	8,454	8,466
	Enzimático	3	13,23133	,002517	,001453	13,22508	13,23758	13,229	13,234
	Solvente	3	20,04767	,002517	,001453	20,04142	20,05392	20,045	20,050
	Total	9	13,91267	5,043992	1,681331	10,03551	17,78982	8,454	20,050
Peróxido	Prensado	3	15,4220	,00265	,00153	15,4154	15,4286	15,42	15,42
	Enzimático	3	17,2670	,06409	,03700	17,1078	17,4262	17,23	17,34
	Solvente	3	20,7173	1,15586	,66733	17,8460	23,5886	20,05	22,05
	Total	9	17,8021	2,39869	,79956	15,9583	19,6459	15,42	22,05

Cuadro 35 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 8.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	8,52400	,032696	,018877	8,44278	8,60522	8,499	8,561
	Enzimático	3	14,54300	,006245	,003606	14,52749	14,55851	14,538	14,550
	Solvente	3	26,04000	,002646	,001528	26,03343	26,04657	26,037	26,042
	Total	9	16,36900	7,707317	2,569106	10,44463	22,29337	8,499	26,042
Peróxido	Prensado	3	25,0940	,02427	,01401	25,0337	25,1543	25,08	25,12
	Enzimático	3	27,2310	,00608	,00351	27,2159	27,2461	27,23	27,24
	Solvente	3	28,4367	,01266	,00731	28,4052	28,4681	28,43	28,45
	Total	9	26,9206	1,46609	,48870	25,7936	28,0475	25,08	28,45

Cuadro 36 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 10

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	10,22533	,007767	,004485	10,20604	10,24463	10,219	10,234
	Enzimático	3	14,57333	,005508	,003180	14,55965	14,58701	14,568	14,579
	Solvente	3	35,11333	,018448	,010651	35,06751	35,15916	35,093	35,129
	Total	9	19,97067	11,512005	3,837335	11,12176	28,81958	10,219	35,129
Peróxido	Prensado	3	23,2177	,00850	,00491	23,1965	23,2388	23,21	23,23
	Enzimático	3	28,2740	,00700	,00404	28,2566	28,2914	28,27	28,28
	Solvente	3	30,6367	,01266	,00731	30,6052	30,6681	30,63	30,65
	Total	9	27,3761	3,28235	1,09412	24,8531	29,8992	23,21	30,65

Cuadro 37 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 40 ° C en la semana 12.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	14,21767	,013317	,007688	14,18459	14,25075	14,209	14,233
	Enzimático	3	18,51167	,009018	,005207	18,48926	18,53407	18,503	18,521
	Solvente	3	42,31667	,001528	,000882	42,31287	42,32046	42,315	42,318
	Total	9	25,01533	13,108541	4,369514	14,93922	35,09145	14,209	42,318
Peróxido	Prensado	3	28,7190	,00100	,00058	28,7165	28,7215	28,72	28,72
	Enzimático	3	32,4180	,00557	,00321	32,4042	32,4318	32,41	32,42
	Solvente	3	34,6367	,01266	,00731	34,6052	34,6681	34,63	34,65
	Total	9	31,9246	2,58902	,86301	29,9345	33,9147	28,72	34,65

Cuadro 38 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 4.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	4,37320	,182212	,105200	3,92056	4,82584	4,268	4,584
	Enzimático	3	7,69950	,215822	,124605	7,16337	8,23563	7,508	7,933
	Solvente	3	14,55667	,023352	,013482	14,49866	14,61468	14,536	14,582
	Total	9	8,87646	4,499287	1,499762	5,41800	12,33491	4,268	14,582
Peróxido	Prensado	3	8,4997	,01663	,00960	8,4583	8,5410	8,49	8,52
	Enzimático	3	5,0140	,00303	,00175	5,0065	5,0215	5,01	5,02
	Solvente	3	11,0391	,34310	,19809	10,1868	11,8914	10,66	11,32
	Total	9	8,1843	2,62529	,87510	6,1663	10,2022	5,01	11,32

Cuadro 39 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 8.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	5,42490	,000000	,000000	5,42490	5,42490	5,425	5,425
	Enzimático	3	11,47880	,544730	,314500	10,12562	12,83198	10,850	11,793
	Solvente	3	21,82263	,478508	,276267	20,63395	23,01131	21,282	22,193
	Total	9	12,90878	7,190112	2,396704	7,38197	18,43559	5,425	22,193
Peróxido	Prensado	3	22,0940	,02427	,01401	22,0337	22,1543	22,08	22,12
	Enzimático	3	15,0672	,05208	,03007	14,9379	15,1966	15,03	15,13
	Solvente	3	17,5421	,38463	,22207	16,5866	18,4975	17,32	17,99
	Total	9	18,2344	3,09279	1,03093	15,8571	20,6118	15,03	22,12

Cuadro 40 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 30 ° C en la semana 12.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	10,39800	,061490	,035501	10,24525	10,55075	10,327	10,434
	Enzimático	3	14,54133	,051733	,029868	14,41282	14,66985	14,509	14,601
	Solvente	3	35,08467	,017616	,010171	35,04091	35,12843	35,074	35,105
	Total	9	20,00800	11,449022	3,816341	11,20750	28,80850	10,327	35,105
Peróxido	Prensado	3	23,5301	,01000	,00577	23,5053	23,5549	23,52	23,54
	Enzimático	3	27,2793	,00153	,00088	27,2755	27,2831	27,28	27,28
	Solvente	3	29,5300	,00265	,00153	29,5234	29,5366	29,53	29,53
	Total	9	26,7798	2,62491	,87497	24,7621	28,7975	23,52	29,53

Cuadro 41 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 20 ° C en la semana 6.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	5,31167	,024846	,014345	5,24995	5,37339	5,283	5,327
	Enzimático	3	7,22800	,097893	,056518	6,98482	7,47118	7,169	7,341
	Solvente	3	14,29433	,037528	,021667	14,20111	14,38756	14,251	14,316
	Total	9	8,94467	4,097513	1,365838	5,79504	12,09429	5,283	14,316
Peróxido	Prensado	3	7,1163	,08286	,04784	6,9105	7,3222	7,07	7,21
	Enzimático	3	6,3160	,08307	,04796	6,1096	6,5224	6,22	6,38
	Solvente	3	7,4897	,04148	,02395	7,3866	7,5927	7,44	7,53
	Total	9	6,9740	,52302	,17434	6,5720	7,3760	6,22	7,53

Cuadro 42 Análisis estadístico descriptivo de los resultados de la evaluación de índice de acidez y peróxido de los aceites de obtenidos aplicando los métodos de extracción en estudio, a la temperatura de 20 ° C en la semana 12.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Acidez	Prensado	3	6,49007	,020105	,011608	6,44012	6,54001	6,470	6,510
	Enzimático	3	10,85177	,031596	,018242	10,77328	10,93026	10,821	10,884
	Solvente	3	21,29773	,027880	,016097	21,22848	21,36699	21,266	21,316
	Total	9	12,87986	6,589898	2,196633	7,81441	17,94530	6,470	21,316
Peróxido	Prensado	3	11,1174	,08837	,05102	10,8979	11,3369	11,02	11,20
	Enzimático	3	10,2784	,02859	,01651	8,2074	8,3494	8,25	8,30
	Solvente	3	15,8316	,04018	,02320	15,7318	15,9315	15,81	15,88
	Total	9	11,7425	3,30446	1,10149	9,2024	14,2825	8,25	15,88

Cuadro 43 Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por prensado.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	4,913	5,803	7,387	8,457	8,499	10,234	14,211
30°C	4,913		4,373		5,425		10,217
20°C	4,913			5,311			6,490
LogN (Índice de acidez)							
40°C	1,592	1,758	2,000	2,135	2,140	2,326	2,654
30°C	1,592		1,475		1,691		2,324
20°C	1,592			1,670			1,870
1/(índice de acidez)							
40°C	0,204	0,172	0,135	0,118	0,118	0,098	0,070
30°C	0,204		0,229		0,184		0,098
20°C	0,204			0,188			0,154

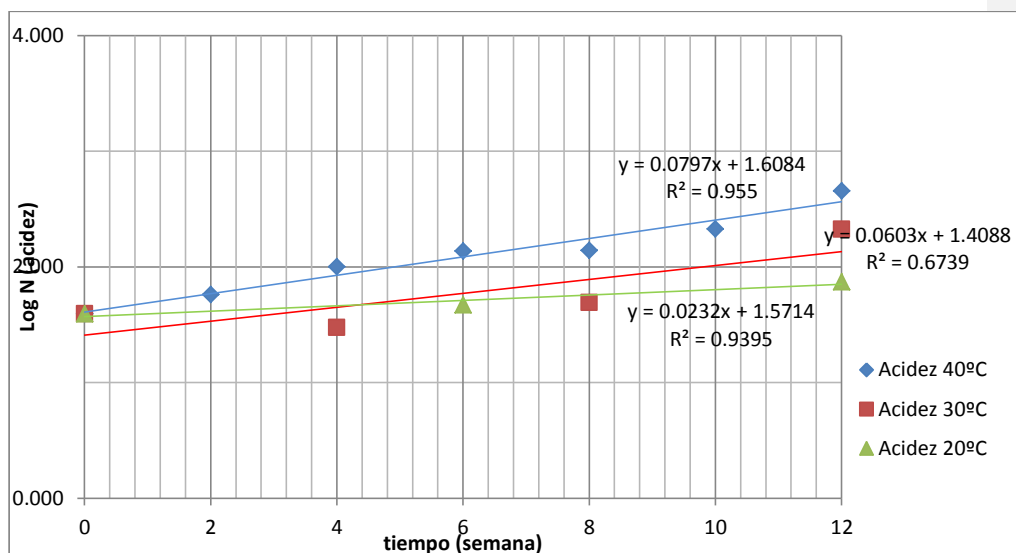


Figura 33 Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por prensado.

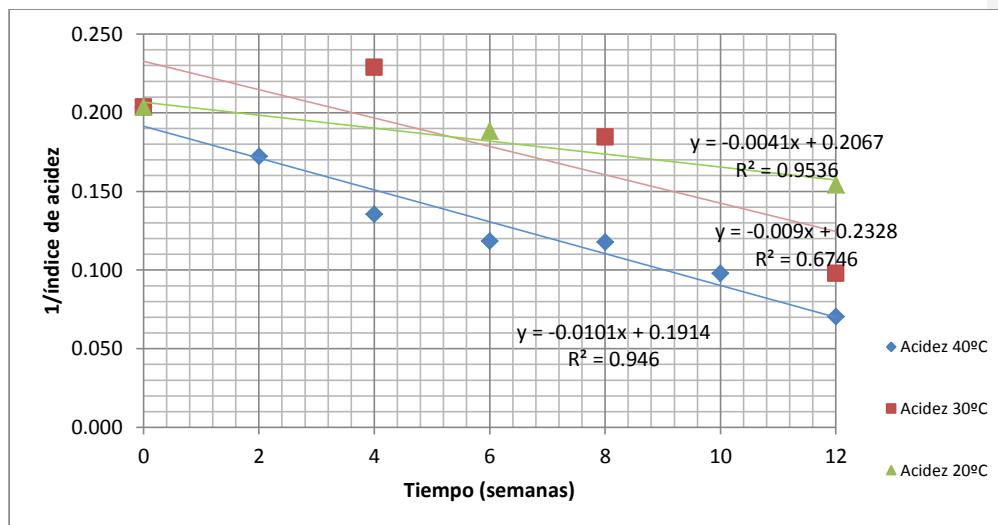


Figura 34 Cinética de orden 2 $1/\text{índice de acidez}$ vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por prensado.

Cuadro 44 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por prensado en frío, en orden de reacción 0,1 y 2

Temperatura °C	Correlación lineal		
	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,8984	0,9395	0,946
30	0,06623	0,6739	0,6746
20	0,09247	0,955	0,9535

Cuadro 45 Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción con pre tratamiento enzimático–prensado.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	5,145	9,015	12,620	13,231	14,543	14,573	18,512
30°C	5,145		7,699		11,479		14,231
20°C	5,145			7,228			10,852
LogN (Índice de acidez)							
40°C	1,638	2,199	2,535	2,583	2,677	2,679	2,918
30°C	1,638		2,041		2,440		2,655
20°C	1,638			1,978			2,384
1/(índice de acidez)							
40°C	0,194	0,111	0,079	0,076	0,069	0,069	0,054
30°C	0,194		0,130		0,087		0,070
20°C	0,194			0,138			0,092

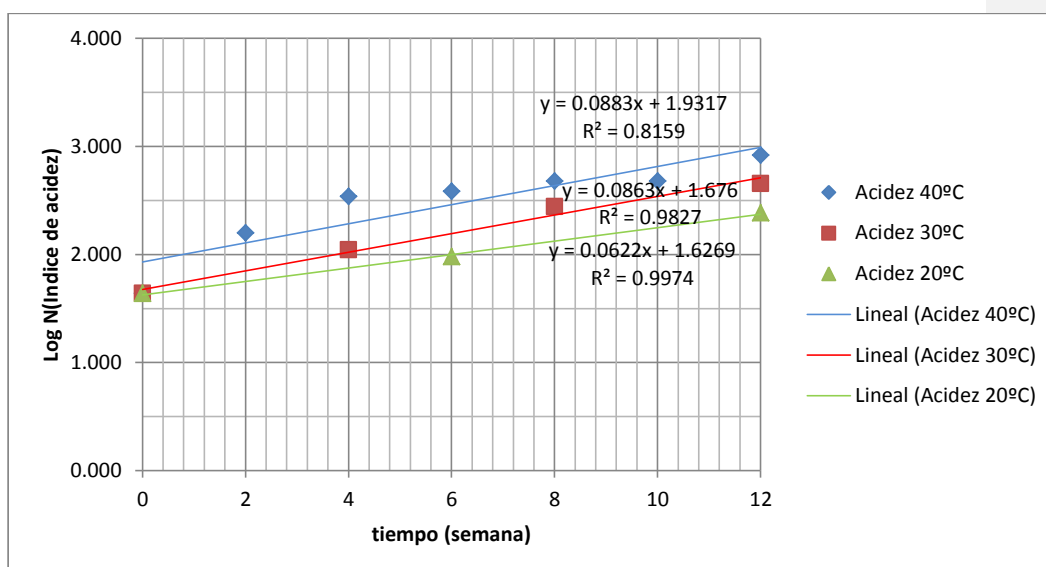


Figura 35 Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pre tratamiento enzimático–prensado.

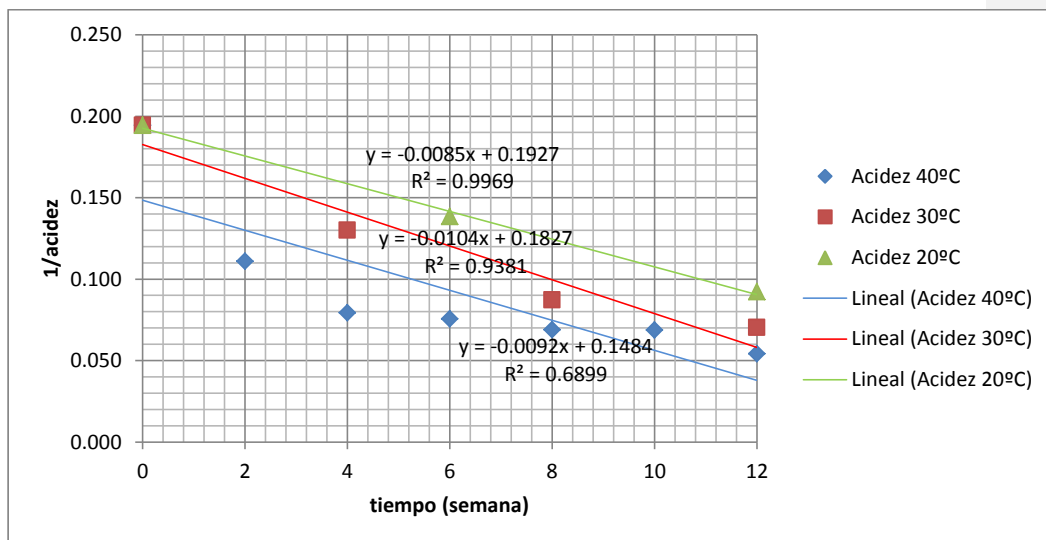


Figura 36 Cinética de orden 2 $1/\text{índice de acidez}$ vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pre tratamiento enzimático–prensado.

Cuadro 46 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por pre tratamiento enzimático–prensado, en orden de reacción 0,1 y 2

Temperatura °C	Correlación lineal		
	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,9053	0,8159	0,6899
30	0,9945	0,9827	0,9381
20	0,9763	0,9974	0,9969

Cuadro 47 Datos para la evaluación de la cinética de deterioro hidrolítico y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por solvente.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	9,084	11,013	17,160	20,048	26,040	35,113	42,317
30°C	9,084		14,557		21,823		35,310
20°C	9,084			14,294			21,298
LogN (Índice de acidez)							
40°C	2,207	2,399	2,843	2,998	3,260	3,559	3,745
30°C	2,207		2,678		3,083		3,564
20°C	2,207			2,660			3,059
1/(índice de acidez)							
40°C	0,110	0,091	0,058	0,050	0,038	0,028	0,024
30°C	0,110		0,069		0,046		0,028
20°C	0,110			0,070			0,047

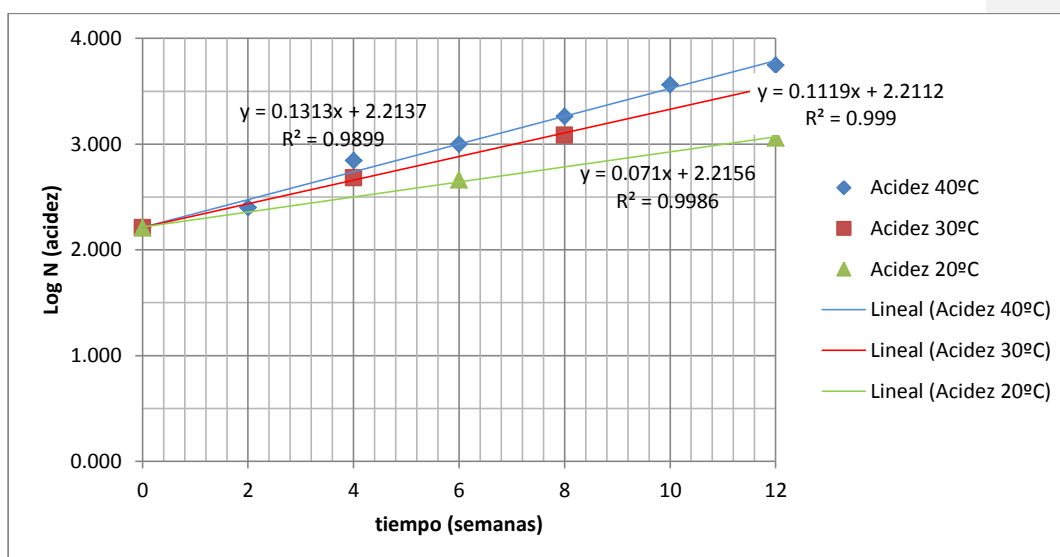


Figura 37 Cinética de orden 1 Ln (índice de acidez) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.

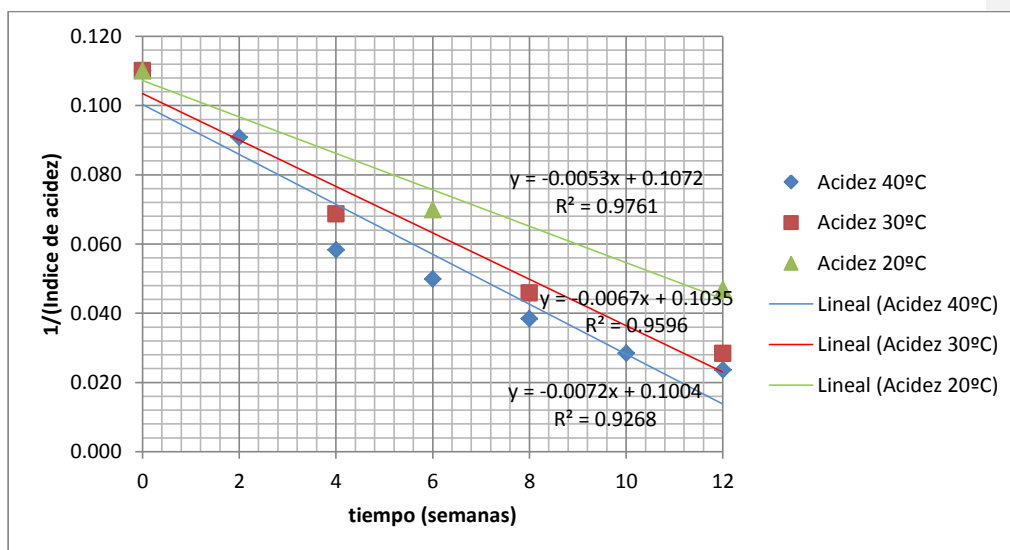


Figura 38 Cinética de orden 2 $1/\text{índice de acidez}$ vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por solvente.

Cuadro 48 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción por solvente en orden de reacción 0,1 y 2.

Temperatura °C	Correlación lineal		
	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,9654	0,9899	0,9268
30	0,9559	0,999	0,9596
20	0,9929	0,9986	0,9761

Cuadro 49 Datos para la evaluación de la cinética de deterioro oxidativo y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por prensado.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	3,495	6,533	12,816	15,422	22,094	23,218	28,719
30°C	3,495		8,4997		22,094		23,5301
20°C	3,495			7,1163			11,1174
LogN (Índice de acidez)							
40°C	1,251	1,877	2,551	2,736	3,095	3,145	3,358
30°C	1,251		2,140		3,095		3,158
20°C	1,251			1,962			2,409
1/(índice de acidez)							
40°C	0,799	0,533	0,392	0,366	0,323	0,318	0,298
30°C	0,799		0,467		0,323		0,317
20°C	0,799			0,510			0,415

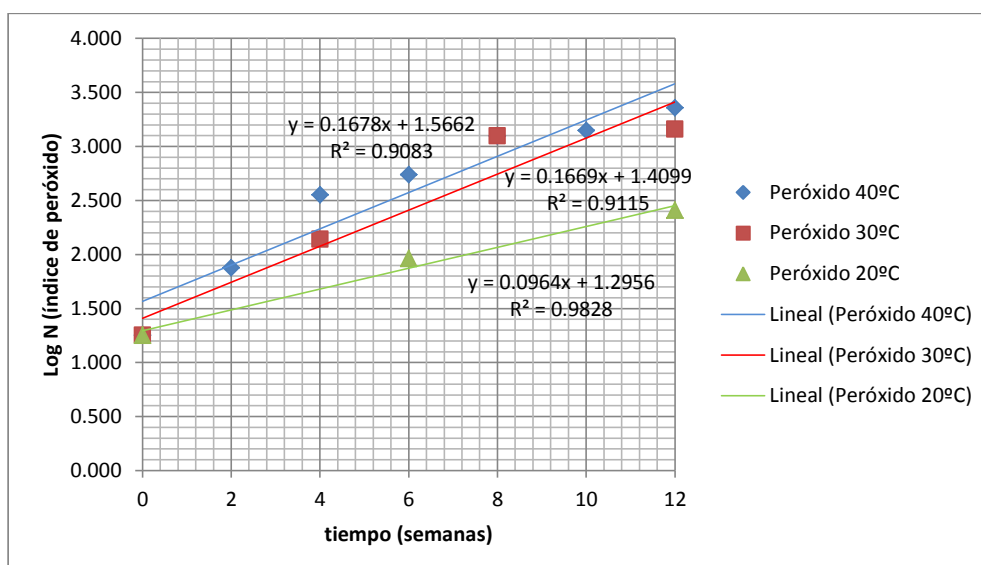


Figura 39 Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por prensado.

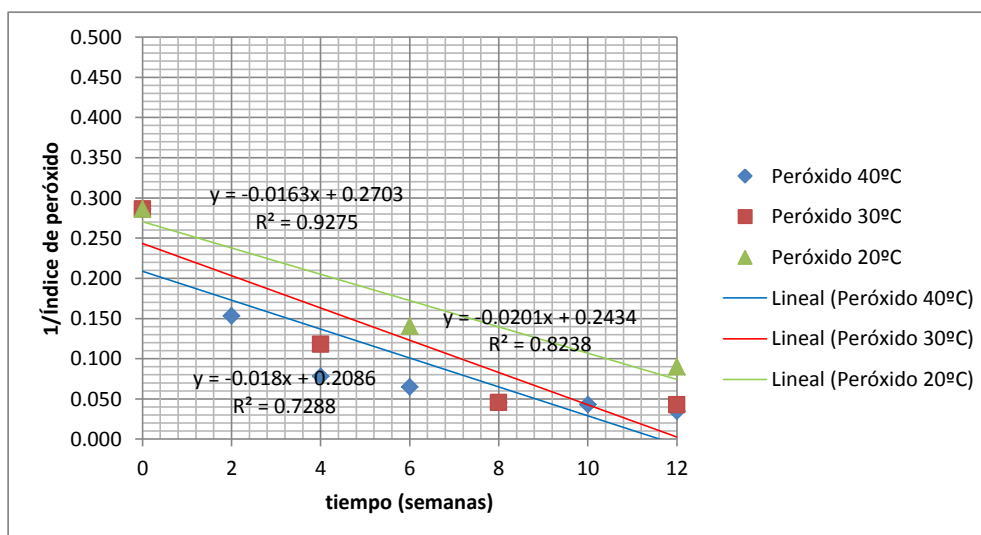


Figura 40 Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por prensado.

Cuadro 50 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción por prensado en orden de reacción 0,1 y 2.

	Correlación lineal		
Temperatura °C	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,9853	0,9083	0,7288
30	0,9166	0,9115	0,8238
20	0,992	0,9828	0,9275

Cuadro 51 Datos para la evaluación de la cinética de deterioro oxidativo y elaboración de grafica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por pre tratamiento enzimático-prensado.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	2,077	3,800	9,530	17,267	27,231	28,274	32,418
30°C	2,077		5,014		15,0672		27,2793
20°C	2,077			6,316			10,2784
LogN (Índice de acidez)							
40°C	0,731	1,335	2,254	2,849	3,304	3,342	3,479
30°C	0,731		1,612		2,713		3,306
20°C	0,731			1,843			2,330
1/(índice de acidez)							
40°C	0,481	0,263	0,105	0,058	0,037	0,035	0,031
30°C	0,481		0,199		0,066		0,037
20°C	0,481			0,158			0,097

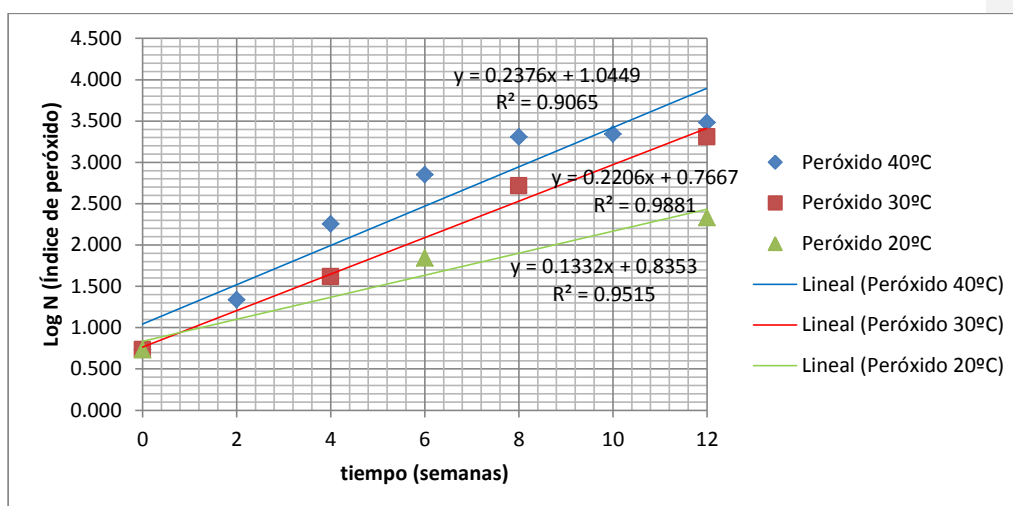


Figura 41 Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por pre tratamiento enzimático-prensado.

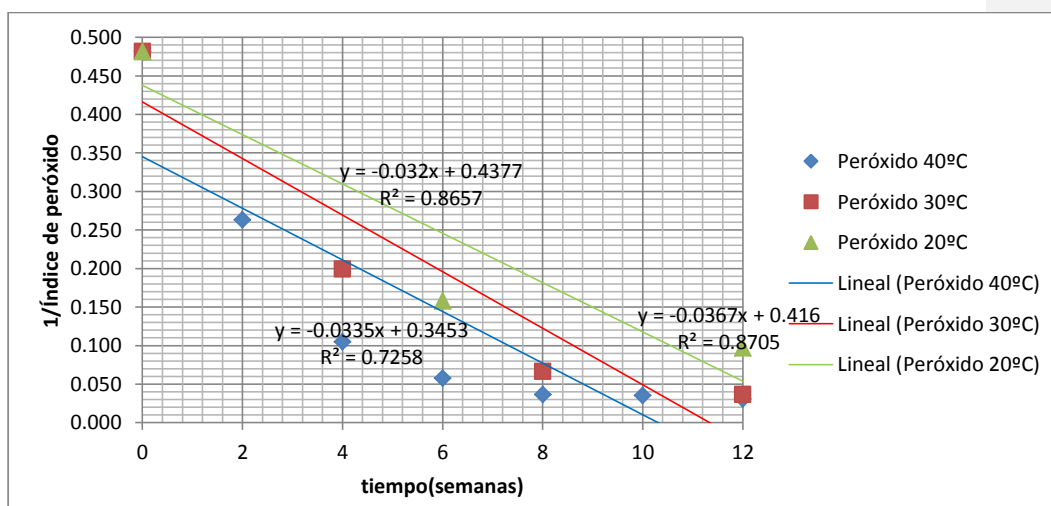


Figura 42 Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción con pre tratamiento enzimático-prensado.

Cuadro 52 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción con pre tratamiento enzimático-prensado en orden de reacción 0,1 y 2.

Temperatura °C	Correlación lineal		
	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,9631	0,9065	0,7258
30	0,9416	0,9881	0,8705
20	0,9996	0,9515	0,8657

Cuadro 53 Datos para evaluar la cinética del deterioro oxidativo y elaboración de gráfica de orden 0, 1 y 2 del aceite obtenido por extracción por solvente.

	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6	Semana 8	Semana 10	Semana 12
Índice de acidez							
40°C	4,313	4,877	14,509	20,7173	28,437	30,637	34,6367
30°C	4,31		11,0391		17,5421		29,53
20°C	4,313			7,4897			15,8316
LogN (Índice de acidez)							
40°C	1,462	1,584	2,675	3,031	3,348	3,422	3,545
30°C	1,462		2,401		2,865		3,385
20°C	1,462			2,014			2,762
1/(índice de acidez)							
40°C	0,232	0,205	0,069	0,048	0,035	0,033	0,029
30°C	0,232		0,091		0,057		0,034
20°C	0,232			0,134			0,063

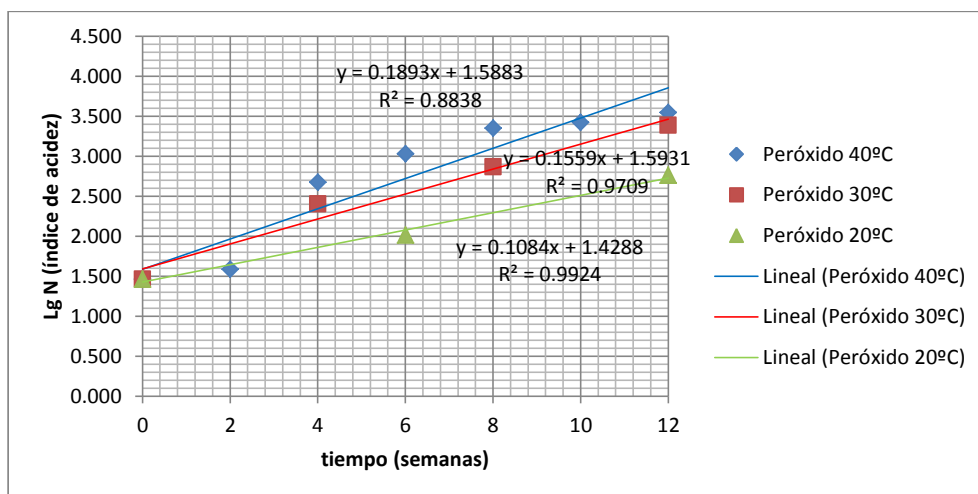


Figura 43 Cinética de orden 1 Ln (índice de peróxido) vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.

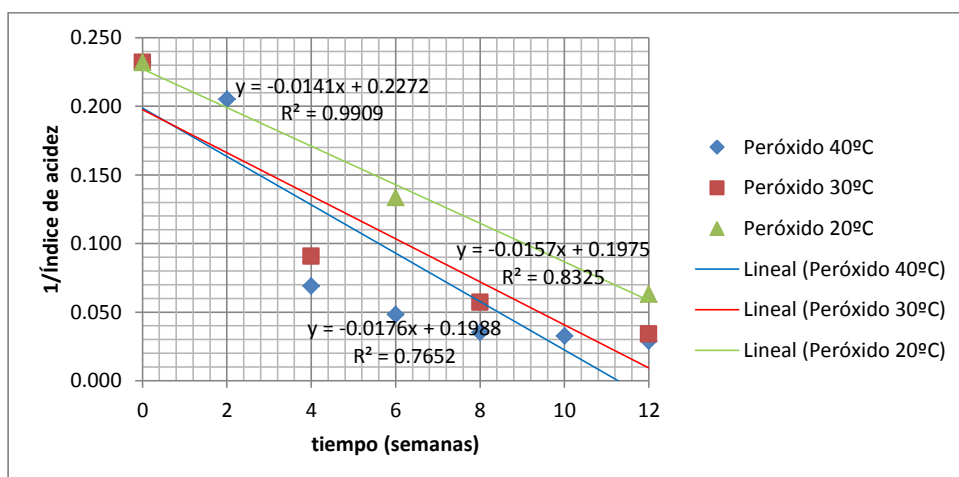


Figura 44 Cinética de orden 2 1/índice de peróxido vs. Tiempo de almacenamiento del aceite obtenido por extracción por solvente.

Cuadro 54 Correlación lineal de los gráficos de comportamiento del aceite obtenido por extracción con solvente en orden de reacción 0,1 y 2.

	Correlación lineal		
Temperatura °C	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	0,9671	0,8838	0,7652
30	0,9753	0,9709	0,8325
20	0,9671	0,9924	0,9909